

Anais do

7º Congresso Internacional A ERA BIM

São Paulo

26 a 28 de novembro de 2024

sinaenco

SINDICATO DA ARQUITETURA E DA ENGENHARIA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Ficha catalográfica feita pelo editor

S615a

Congresso Internacional A ERA BIM (7. : 2024: São Paulo, SP)

Anais [do] VII Congresso Internacional A ERA BIM [recurso eletrônico], 26 a 28 de novembro de 2024/ organização Eduardo Sampaio Nardelli. -- 1.ed. -- São Paulo, SP : SINAENCO, 2024.

PDF. 655 p. il.

Vários autores

ISBN: 978-65-985548-0-4

1. Modelagem de informação da construção. 2. Construção civil – contratos e especificações. 3. Indústria de construção civil - Gerenciamento de recursos de informação. I. Nardelli, Eduardo Sampaio. II. Título.

CDD 22 ed.: 690.0285


Construa o
EXTRAORDINÁRIO
Tecnologia que transforma a história da construção civil
BIM além
da modelagem
ALTO Qi
Builder
ALTO Qi
Eberick
Gestão digital
do empreendimento
ALTO Qi
Visus
altoqi.com.br
Empresa brasileira, líder nacional em soluções tecnológicas.
ALTO Qi

2024 STATE OF DESIGN & MAKE

Relatório da Autodesk

Veja a opinião de líderes globais da indústria sobre como a transformação digital está impulsionando a resiliência empresarial, sustentabilidade e o futuro do trabalho.

Scaneie o QRcode e saiba mais

AUTODESK


construtivo.com
colaborativo
dRofus
A NEMETSCHEK COMPANY
LEAPTHOUGHT
NEWFORMA
KONEKT
StreamBIM
Cintoo
Ambiente Comum de Dados • Digitalização de Obra
Nuvem de Pontos e BIM • Consultoria Estratégica em BIM
buildingSMART
PROVIDER
2024
Professional Certification
Liderando as práticas BIM no mercado, o Construtivo é pioneiro na aplicação do curso de **Certificação Foundation da buildingSMART** no Brasil.
Seja um profissional da construção com um diferencial único no mercado. **Novas turmas abertas:** pcert.construtivo.com
UMA EMPRESA DE TI COM DNA DE ENGENHARIA
construtivo.com
São Paulo - SP Rua Henri Dunant, 873 • Cj. 1201 • +55 11 3044 2520
Porto Alegre - RS R. Mostardeiro, 777 • Cj. 1401 • +55 51 3012 5737
Curitiba - PR Av. Iguaçu, 2820 • 6º Andar • +55 41 3052 9615

GRAPHISOFT®
A NEMETSCHEK COMPANY



SMART DESIGN



ANNA-SEILER-HAUS, INSELSPITAL MAIN BUILDING, BERN UNIVERSITY HOSPITAL, SWITZERLAND
ASTOC ARCHITECTS AND PLANNERS, GWJ ARCHITEKTUR, IAAG ARCHITEKTEN
ASTOC.DE / GWJ.CH / IAAG.CH
PHOTO: © HGESCH

PROJETE O FUTURO

Crie edifícios mais sustentáveis e eficientes em menos tempo, com ajuda da IA e soluções digitais inteligentes de projeto

GRAPHISOFT.COM

Saiba mais em graphisoft.com/br

Focus Premium Max

LASER SCANNER

Eficiência de captura, qualidade de dados e precisão excepcionais

O Focus Premium Max possui um alcance ampliado de até 400 metros. Esse aumento significativo no alcance em relação aos modelos Focus anteriores permite que você capture dados de estruturas maiores e use o scanner para **aplicações geoespaciais** mais amplas, como **levantamentos de infraestrutura, mapeamento topográfico, cálculos de volume de estoque** e muito mais.



Escaneamentos até 50% mais rápidos com a Flash Technology

Com uma fixação de câmera panorâmica e Hybrid Reality Capture inclusos, o Focus Premium Max pode fazer escaneamentos com a Flash Technology.* Você tem a flexibilidade de combinar escaneamentos Flash (que levam apenas 28 segundos) com escaneamentos tradicionais, aumentando a produtividade em campo em mais de 50% e reduzindo o tempo gasto no local.

Cores em altíssima resolução

Com a mais recente tecnologia de câmera colorida, os scanners Focus conseguem coletar escaneamentos com informações de cores de até 266 megapixels.

Solução abrangente de escaneamento

Com base em nosso histórico de precisão e confiabilidade, o Focus Premium Max é rápido, preciso e pode ser combinado com um conjunto de software perfeito para coletar dados com eficiência e compartilhá-los rapidamente com as principais partes interessadas para melhorar os resultados do projeto.

* Inclui licença perpétua da Flash Technology; câmera 360° não incluída

Disponível para você comprar ou alugar

AS ÚLTIMAS TECNOLOGIAS PARA

BIM

ESTÃO AQUI



Na engenharia digital, precisão e integração são chave!

A Leica Geosystems oferece robustez para projetos industriais, enquanto a Matterport cria modelos 3D para imóveis e construções. **Eleve seus projetos com as soluções de escaneamento avançadas da Guandalini.**

(Escaneie o QR Code)
Fale agora com o nosso time e conheça o nosso portfólio.

GUANDALINI
POSICIONAMENTO

SOLIBRI

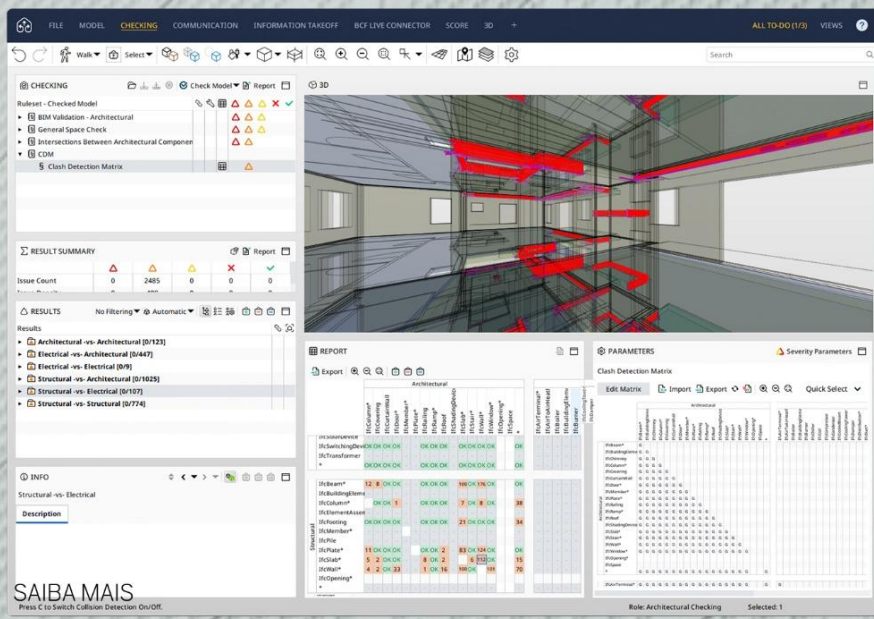
A NEMETSCHEK COMPANY

GARANTIA DA QUALIDADE DE SEUS MODELOS BIM

CHECADA ✓

A Solução **Nº 1** em Checagem Automatizada de modelos para:

- ✓ Validação de Qualidade
- ✓ Diretrizes de Projeto
- ✓ Acessibilidade
- ✓ Code Checking
- ✓ Normas
- ✓ Clash
- ✓ Muito Mais ...



comercial@cadtec.com.br

(11) 99773 4841

SOLIBRI PARTNER BRASIL

CAD TECHNOLOGY

vistta|s

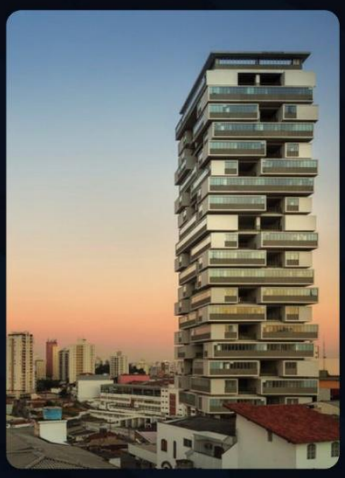
Soluções que transformam sua empresa.

Temos o propósito de TRANSFORMAR as empresas, através das PESSOAS – implantando novos PROCESSOS, METODOLOGIAS e FILOSOFIAS – de forma perene e sustentável.



simplebim®









+60 clientes atendidos

+30 anos de experiência





Vistta|S Consultoria

@vistta_s

Mais informações em nosso site www.visttas.com.br

Patrocinador **PLATINA**



Patrocinador **OURO**



Patrocinador **PRATA**



Patrocinador **DIAMANTE**



APOIO **INSTITUCIONAL**



Ficha Institucional

SINAENCO – Sindicato Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultivas

Presidente	Russell Rudolf Ludwig
VP de Gestão e Assuntos Institucionais	Luciano Alcazar Tani
VP de Administração e Finanças	Andre Jabir Assumpção
VP de Ética e Proteção à Consultoria	José Carlos Valsecchi
VP de Engenharia	Sergei Fortes
VP de Arquitetura	Eduardo Sampaio Nardelli
VP de Ciência e Tecnologia	Michelle Pinheiro Pessoa
VP de Rel. Trab. e Ass. Intersindicais	Adão dos Santos

Ficha Técnica da Publicação

Autoria

SINAENCO

Coordenação

Prof. Dr. Eduardo Sampaio Nardelli

Comitê Técnico-Científico

Eduardo Sampaio Nardelli
Ivo Bastos
Leonardo Factori
Leonardo Manzione
Márcia Doring
Stefania Dimitrov
Vagner Lima

Editor

João Gaspar

Revisão

Eduardo Sampaio Nardelli
João Gaspar

Capa e Projeto Gráfico

João Gaspar

Diagramação

Rita Barbosa Santos

Apoio Administrativo

Graziela Silva
Natália Canela
Bianca Gomes dos Santos
Renata Cabral Tomita

Ficha Técnica do Congresso

Coordenação Geral

Rodrigo Prada

Comunicação e Marketing

Graziela Silva

Redes Sociais

Soul Studio

Fotografia

Ricardo Maizza

Arte

Milton Tortella

Secretaria

Gisele Teodoro
Natália Canela

Captação de Patrocínio

Arquitetura de Ideias

Agradecimentos

Ao Sinaenco

Aos especialistas que submeteram seus trabalhos ao 7º Congresso Internacional A ERA BIM

Prefácio

É com imensa satisfação que apresentamos os Anais do 7º Congresso Internacional: A ERA BIM, realizado de 26 a 28 de novembro de 2024, em São Paulo. Este evento reuniu profissionais, acadêmicos e entusiastas do setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO) para discutir e compartilhar as mais recentes inovações e práticas relacionadas ao Building Information Modeling (BIM).

Ao longo de três dias, os participantes tiveram a oportunidade de assistir a palestras inspiradoras, conhecer casos de sucesso e participar de painéis de discussão que abordaram desde regulamentações até tendências emergentes. A programação foi cuidadosamente elaborada para atender a diferentes níveis de conhecimento, permitindo que cada participante traçasse sua própria jornada de aprendizado.

A presença de 1086 participantes e 132 palestrantes, incluindo nove internacionais, destacou a relevância do evento no cenário global. O público, composto majoritariamente por lideranças em BIM e transformação digital, pôde estabelecer conexões valiosas, promovendo um ambiente propício à troca de experiências e ao fortalecimento da comunidade AECO.

Os trabalhos apresentados nestes anais refletem a diversidade e a profundidade dos temas discutidos, oferecendo insights sobre a aplicação do BIM em diferentes contextos e escalas. Esperamos que este compêndio sirva como uma fonte de referência e inspiração para profissionais e pesquisadores, contribuindo para o avanço contínuo da transformação digital no setor.

Agradecemos a todos os autores, palestrantes, patrocinadores e participantes que tornaram este congresso um sucesso. Que as ideias aqui compartilhadas impulsionem novas iniciativas e colaborações, fortalecendo o compromisso com a inovação e a excelência na AECO.

Eduardo Sampaio Nardelli

Curador do 7º Congresso Internacional A ERA BIM

Sumário

Área temática: Contratação

Implementação do BIM na gestão e execução do sistema adutor Transparaíba – ramal Cariri.... 24
Implementation of BIM in the management and execution of the Transparaíba adductor system - Cariri branch *24*
João Rafael Albuquerque Dias
Livia de Souza Marinho
Alexandre Barbosa Maltez Oliveira
Karla Danielle Bizerra Cavalcante
Marcelo Haruo Fugimoto

Método para precificação de projetos BIM 35
Method for pricing BIM projects *35*
Ana Carolina Contaldi F. de Andrade
Ferrucio Frediani Duro
Glaucia de Assis Moura Alexandre
José Ivonildo R. da Silva Filho
Aline Prado Costa

Área temática: Educação

A interação entre formação, comportamento e personalidade nos principais papéis do ambiente BIM 46
The interaction between education, behavior, and personality in key roles within the BIM environment *46*
Márcia Döring

Acessibilidade profissional com software livre 55
Professional accessibility with open-source software *55*
Pedro Henrique Reis de Lima

Do Zero ao Teto II: o ensino ampliado do BIM 63
Do Zero ao Teto II: expanded BIM education *63*
Stephanie Mendes Trufa
Igor Teodoro Oliveira
Maria Clara de Faria Reis Bento
Maria Fernanda Pinheiro Assunção

Uso do Quiz como estratégia metodológica para ensino-aprendizado do uso do BIM no curso de arquitetura e urbanismo: um relato de experiência 71
Use of Quiz as a methodological strategy for teaching and learning the use of BIM on architecture and urban planning course: an experience report *71*
Letícia Keroly Bezerra Alexandrino
Andrezza Marina de Oliveira Santos

Área temática: Gestão da informação

Automatização do levantamento de dados em projetos de drenagem para rodovias 80
Automation of data acquisition in highway drainage design projects *80*
Giovanni Manzi
Raiffe de Araújo Dias
Natalia Nakamura Barros

Critérios para a verificação de projetos públicos em BIM: diretrizes e desafios 88
Criteria for verifying public projects in BIM: guidelines and challenges 88
CarlosEduardo Gomes Carneiro
Eduardo Ribeiro dos Santos

Desafios e soluções na implementação do BIM-FM – análise dos obstáculos e propostas para melhoria da eficiência 98
Challenges and solutions in BIM-FM implementation – analysis of obstacles and proposals for improving efficiency 98
Rafael Barbosa Otranto
Otto Araujo Nielsen
Giuseppe Miceli Junior
Paulo Cesar Pellanda

Elaboração de projeto padrão para estação de BRT (Bus Rapid Transit). Modelagem BIM na dimensão 6D 113
Elaboration of standard project for BRT (Bus Rapid Transit) station. BIM modeling in the 6D dimension.
Karoline Lima Silva
Edson Clay de Lira Silva Junior
Daniele Balestreri Scarabelot

Estratégias para potencializar a adoção do BIM em empreendimentos ferroviários: um estudo de caso 121
Strategies to enhance the adoption of BIM in railway projects: a case study 121
Cibele Alves da Silva
André Farhud de Andrade
Cleivan Augusto Bianchin

Gestão ágil e BIM: análise dos impactos da implementação do BIM em uma empresa de projetos estruturais sob a perspectiva de métricas ágeis 130
Agile management and BIM: analysis of the impacts of BIM implementation in a structural engineering company from the perspective of agile metrics 130
Raisa Gonçalves Nunes
João Lucas Kerber
Annie Boijink Pereira

Gestão de projetos: implementação da Modelagem da Informação da Construção em projetos de edificações industriais 142
Design management: Building Information Modeling implementation in industrial buildings 142
Fabiana Dias da Silva

Integração BIM e SIG baseada em um modelo de gerenciamento de informações de ativos 150
BIM and GIS integration based on an asset information management model 150
Iasmin de Sousa Jaime
Raquel Naves Blumenschein

Inteligência sobre trilhos: explorando o uso de BIM na *High-Speed Railway* inteligente (IHSR) 162
Intelligence on tracks: exploring the use of BIM in Intelligent High-Speed Railway (IHSR) 162
Pedro Rey Antón
Alessandra Barbetta Lima
Bruna Gonçalves da Silva
Francisco Weslley Paiva Castelo
José Vinícius Silva Martins

Método Integrado de Tendência e Equalização de Custos (MITEC) 172
The integrated trend and cost equalization method (MITEC) 172
Mario da Silva Antonio
Leonardo Verbicaro Perdomo

Modelo de maturidade para a gestão e segurança da informação da construção 183
Maturity model for building information management and security *183*
Eduardo Ribeiro dos Santos
Monica Santos Salgado
Sergio Scheer

Otimização de processos em projetos rodoviários e ferroviários com tecnologias customizadas no Civil 3D 191
Process optimization in road and railway projects with customized technologies in Civil 3D *191*
Francisco Weslley Paiva Castelo
Carlos Eduardo Capanema
Anderson Santos de Oliveira
Marinna Dias Pereira

Padronização e inovação com a tecnologia BIM em projetos de iluminação no Brasil 199
Standardization and innovation with BIM technology in lighting projects in Brazil *199*
Juliana Iwashita Kawasaki
Aline Carvalho Pontes
Leonardo Alves Teixeira
Fernanda Carlos da Rocha
Gabriel Ferreira Soares

Padronização em etapa pré-BIM em empresa de saneamento – estudo de caso em companhia de saneamento 207
Pre-BIM standardization in sanitation companies – a case study at sanitation company *207*
Lamara Brenda de B. Gomes
Marcela R. de Magalhães

Plano de ação para implementação do BIM com foco no planejamento estratégico e avaliação de maturidade organizacional 215
Action plan for BIM implementation with focus on strategic planning and organizational maturity assessment *215*
Daniel Alves Moura
Raul Pinto Neto

Qualidade para adoção do BIM no setor público: estudo de caso em escritórios universitários 231
Quality for adopting BIM in the public sector: case study in university offices *231*
Raíssa Bezerra de Almeida Cruz
Mônica Santos Salgado

Quantitativos de modelos: um debate sobre precisão e aplicação no mercado 241
BIM quantity take-offs: a debate on precision and market application *241*
Leonardo Morais

Área temática: Inovação tecnológica na construção

Algoritmo para cálculo de áreas de geometrias complexas e de menor recorrência em modelos IFC 254
Algorithm for calculating areas of complex and least recurring geometries in IFC models *254*
João Alberto da Motta Gaspar
Rodrigo Costa Loureiro
Thaís Bernardo dos Santos
Alcione Dolavale

Análise automatizada em modelos IFC: o estudo do Código de Obras e Edificações da cidade de São Paulo 266
Automated analysis in IFC models: study of São Paulo City Building Code *266*
Aline Prado Costa
Ana Carolina Contaldi F. de Andrade

Aquisição de software BIM pela Prefeitura de Londrina: desafios e melhores práticas 275
Acquisition of BIM Software by the municipality of Londrina: Challenges and Best Practices *275*
Maria Isabel Pedrosa Custódio
Bruna Cristina Golfeto
Matheus Borges Chaves
Sérgio Scheer

Automação da modelagem e detalhamento de longarinas protendidas com uso do Dynamo 281
Automation of modeling and detailing of prestressed beams using Dynamo *281*
Kevin Mauricio Guedes Silva

Automação para projeto BIM de estruturas de armazenamento de rejeitos 294
Automation for BIM design of tailings storage structures *294*
Matheus Lima de Barros
Anna Júlia Gomes Ribeiro
Guilherme Dias Santos Amaral Iff Jannuzzi
Igor de Moraes Ramos Silva
João Lucas Vilar de Andrade
Thiago Franklin Santos de Almeida

Automatização do controle de qualidade em projetos BIM 303
Automation of quality control in BIM projects *303*
Letícia Weijh
Juliana Scanoni Silva
João Pedro
Alana Stamford

Avaliação da Interoperabilidade de softwares para projetos de pontes 313
Assessment of interoperability in bridge design software *313*
Letícia Negris Gardioli
Diôgo Silva de Oliveira
Guilherme Palla Teixeira
Kleos Magalhães Lenz Cesar Júnior

BIM e escaneamento a laser para eficiência na construção pública: estudo de caso da praça do papa 329
BIM and laser scanning for efficiency in public construction: case study of praça do papa *329*
Daniel Garcia Toscano Barreto
Brenda Villa Lobos
Leonardo Manzione

BIM e microssimulação de fluxo de pessoas na concepção de estações de Metrô 339
BIM and passenger flow microsimulation in the design of subway stations *339*
Rodrigo Tamura
Willian Rafael da Silva
Guilherme Tavares
Renata Rohm
João Paulo Ranazzi

Colaboração contínua: explorando conceitos de gestão integrada de projetos, processos BIM e engenharia inteligente como transformação digital na construção 350
Continuous collaboration: exploring integrated project management principles, BIM processes, and smart engineering with digital transformation *350*
Rafael Ramalho de Souza Silva
Poliana Avelar Guimarães
Deise Cristina Rosa
Wadson Miguel Siqueira Junior
Marcos Rodrigo Banhato

Comparação entre modelos BIM de registro obtidos por processo manual e automatizado 360
Comparison between record BIM Model obtained by manual and automated process *360*
Cezar Lima Ferreira Barbalho
Natália Nakamura Barros
Lucas Melchiori Pereira
Antonio Ivo de Barros Mainardi Neto
Stefania Dimitrov

Contribuições do BIM na otimização da montagem de edifícios em pré-fabricados de concreto com a utilização de guindastes de torre e móveis em canteiro de obras 368
BIM contributions in the optimization of assembly and prefabricated concrete buildings with the use of tower cranes and mobile cranes on construction sites *368*
Luiz V. de A. Junior
Sheyla Mara Baptista Serra
Marcelo de Araujo Ferreira

Democratização da linguagem arquitetônica através de gamificação, realidade aumentada e virtual 377
Democratization of Architectural Language through gamification, augmented reality, and virtual reality
Bianca Gomes dos Santos
Natália Nakamura Barros
Miguel Settimio Righetto
Stefania Dimitrov

Desafios e oportunidades para a implementação da Inteligência Artificial na Construção 385
Challenges and opportunities for implementing Artificial Intelligence in Construction *385*
Leonardo Manzione

Desafios e soluções para a implementação do BIM no setor da construção civil 391
Challenges and Solutions on BIM Implementation in the Civil Construction Sector *391*
Paulo Vitor Mazia
Rafael Alves de Souza

Design paramétrico e generativo na era BIM: a sede do BEEAH e o plano diretor de Kartal, de Zaha Hadid 401
Parametric and generative design in the BIM era: Zaha Hadid's BEEAH headquarters and Kartal masterplan *401*
Pâmela de Oliveira Lopes
Mônica Santos Salgado

Digitalização de plantas de processo no saneamento 409
Water process plants digitalization *409*
Fábio Yugo Fujii
Bruno Baptista Giorgis Piccini
Eugênio Fonseca Barbosa

Elementos paramétricos de pontes em vigas a partir da interpretação de geometria Brep 418
Parametric girder bridge elements from the Brep geometry interpretation *418*
Guilherme Palla Teixeira
José Carlos Lopes Ribeiro
Kléos Magalhães Lenz César Jr
Diôgo Silva de Oliveira
José Maria Franco de Carvalho
Letícia Negris Gardioli
Lucas Andrade Nunes

Fabricação digital no pátio de estacionamento e manutenção da Linha 6 de metrô de São Paulo 430
Digital fabrication at Line 6 metro São Paulo Project train yard *430*
Pedro Rey Anton
Alessandra Barbetta
Bruna Bezerra Vieira
Bruna Gonçalves
Mayara Lika Ozaki
Mayara Palladino
Isabela Marques
Carlos Peña Chueca
Loreto Fuentes

IFC para modelagem de informação do planejamento físico e financeiro da construção 442
IFC for information modeling of construction physical and financial planning *442*
Natália Nakamura Barros
Julio Cesar da Silva Calixto
Nayara Yokoyama Vieira Kako
Lucas Melchiori Pereira
Stefania Dimitrov

Implementação BIM na Geribello Engenharia 450
BIM implementation in Geribello Engenharia *450*
Bianca Languidi
Giovani Costa
Kesia Silva
Larissa Araújo
José Carlos Lino

Impressão 3D FDM na etapa de construção de estação de tratamento de esgoto 462
FDM 3D printing to sewage treatment plant construction stage *462*
Luiz Alberto Neves Alário
Natália Nakamura Barros
Paulo Eduardo Valadares
Stefania Dimitrov

Inovação digital na construção: impressão 3D como extensão de projetos BIM 469
Digital innovation in construction: 3D Printing as an extension of BIM projects *469*
Hannah Caroline Proença
Leandro Chaves Cavalcanti
Vagner Almeida Lima

Integração BIM e GIS na análise de traçados rodoviários: uma abordagem baseada em indicadores de desempenho 484
Integrating BIM and GIS in highway alignment analysis: a performance indicator-based approach *484*
José Vinícius Silva Martins
Francisco Weslley Paiva Castelo
Bruna Bezerra Vieira

O uso de tecnologias projetuais como estratégia de acessibilidade para adultos autistas 495
The use of design technologies as an accessibility strategy for autistic adults *495*
Letícia Keroly Bezerra Alexandrino

O uso do HBIM na restauração e preservação dos bens arquitetônicos 503
The use of HBIM in the restoration and preservation of architectural heritage *503*
Patrícia V. Nahas

Os impactos do uso da metodologia BIM no gerenciamento de empreendimentos na gestão pública: estudo de caso em condomínio de Habitação de Interesse Social (HIS) 519
The impacts of using the BIM methodology in managing projects in public management: case study in a Social Housing condominium (HIS). *519*
Roberta Torales Dionello Mancila
Monica Garrido Sarraff Pinheiro
Marcos Romano
Leandro Braga de Castro
Murilo dos Santos Costa

Pesquisa sobre a adoção da inteligência artificial na Indústria AEC 528
Research on the adoption of artificial intelligence in the AEC Industry *528*
Vagner Almeida Lima
Eduardo de Rezende Francisco

Projeto estrutural de um edifício multifamiliar em concreto armado em BIM: um estudo de caso 537
Structural design of a multi-family reinforced concrete building in BIM: a case study *537*
Karini Nunes de Oliveira
Kleos Magalhaes Lenz Cesar Junior
Diôgo Silva de Oliveira
José Maria Franco de Carvalho

Projeto executivo de contenção de encostas e urbanização em áreas de risco – Recife/PE 559
Executive Project for Slope containment and urbanization in Risk Areas – Recife/PE *559*
Ana Cláudia Villar e Luna Gusmão
Hélio A. Machado Pessôa Filho
Anderson R. Farias de Oliveira
Michelle Pinheiro Pessôa
Daniel F. Barreto de Andrade Lima
António José Trigo Relvas
Marília Gabriela Alves de Arruda
Eduardo de C. Bittencourt
Ricardo Luís Barreto de Sales Reis
Maria Clara Cândido de Lima
Edgar B. F. B. Mendes de Oliveira
Erick Jones Rocha de Melo
Rafael Antônio da Silva Santiago
Rolison Felipe Ferreira de Lima

Realidade mista e BIM aplicados às inspeções e verificações de estruturas de concreto armado 567
Mixed reality and BIM applied to reinforced concrete structure inspections and verifications *567*
Isabele Rocha Castellano
Ana Carolina Pereira Martins
José Maria Franco de Carvalho
Márcio Henrique Angelo Charles
José Carlos Lopes Ribeiro

Rotinas de programação para automação de projeto de cortinas atirantadas 578
Programming routines for automation of anchored retaining wall projects *578*
Vitor Lucas Bernardo Ferreira
Kevin Maurício Guedes Silva

ScrapBIM: inovação na gestão de custos em construção através do BIM.....592
ScrapBIM: Innovation in Cost Management in Construction through *592*
Maria Clara de Faria Reis Bento
Igor Teodoro Oliveira
Rafael Bonioli Kneip
Stephanie Mendes Trufa
Maria Fernanda Pinheiro Assunção

Sistema de Monitoramento de Baixo Custo para Gêmeo Digital 601
Low-Cost Monitoring System for Digital Twin *601*
João Pedro França e Carvalho
Juliana Scanoni Silva

Uso de nuvem de pontos e modelos BIM para controle de obras subterrâneas.....611
Point clouds and BIM models use for underground construction monitoring. Line 6 metro São Paulo example. *611*
Pedro Rey Anton
Bruna Bezerra Vieira
Alessandra Barbetta
Bruna Gonçalves
Mayara Palladino
Isabela Marques
Manuel Mena Montiel
Cristhiano L. Martins
Tatiana Yoshikawa
Carlos Peña Chueca
Tiago Vieira

Área temática: Sustentabilidade

Green CapEx: potencial da avaliação do ciclo de vida integrado ao BIM em projeto de uma hidrelétrica.....623
Green CapEx: potential of life cycle assessment integrated with BIM in a hydropower project *623*
Lucas Yosuke Leonel Fukuda
Thomaz Júnior Soares Silva
Pedro Henrique Schuchter Pereira

Integração do BIM na redução da emissão de carbono: práticas sustentáveis para infraestruturas de transporte 634
Integration of BIM in carbon emission reduction: sustainable practices for transportation infrastructure
Marinna Dias Pereira
Francisco Weslley Paiva Castelo
Anderson Santos de Oliveira
Eduardo Capanema

Usos BIM em projetos de terminais de passageiros e instalações aeroportuárias, integrando conceitos de eficiência energética em prol de certificações ambientais. 644
BIM uses in projects for terminals and airport facilities, integrating energy efficiency concepts to achieve environmental certifications.
Jaqueline Ferreira de Lima

Gerenciamento integrado em BIM: vinculando dados da obra ao modelo 3D. 653
BIM management: linking construction data in the 3D model.
Juliana Scanoni Silva
Anna Júlia Gomes Ribeiro
Mariana Prysthon Moraes
Carlos Ivan dos Santos Amaral
Felipe Leal Barrosa

Área temática: Contratação

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Implementação do BIM na gestão e execução do sistema adutor Transparaíba – ramal Cariri

Implementation of BIM in the management and execution of the Transparaíba adductor system - Cariri branch

João Rafael Albuquerque Dias | Ankara Engenharia | joao.dias@ankaraengenharia.com.br | 0009-0008-2911-2643
Livia de Souza Marinho | CAGEPA | liviamarinho@cagepa.pb.gov.br
Alexandre Barbosa Maltez Oliveira| Geohidro | alexandre@geohidro.com.br
Karla Danielle Bizerra Cavalcante | CAGEPA | karlacavalcante@cagepa.pb.com.br| 0009-0003-4389-9917
Marcelo Haruo Fugimoto| Engecorps | marcelo.fugimoto@engecorps.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14421493

Resumo

Este artigo analisa a implementação da metodologia *Building Information Modeling* (BIM) no projeto de infraestrutura hídrica Transparaíba – Ramal Cariri, que visa garantir a segurança hídrica para a região. Este projeto abrange 18 municípios e comunidades rurais, com foco na distribuição de água tratada, especialmente em áreas semiáridas, com um sistema de adução de aproximadamente 370 km e vazão de 410 l/s. O contrato segue o modelo *Plant and Design-Build* (*Yellow Book* da FIDIC), com financiamento do Banco Mundial, e exige alta integração entre design e construção, demandando supervisão técnica rigorosa. A exigência do BIM no edital inclui o desenvolvimento de um Plano de Execução BIM (BEP) com especificações claras sobre os processos BIM. As diretrizes contemplam o uso de formatos abertos (*OpenBIM*), como o .IFC e BCF, para promover um ambiente colaborativo que assegure transparência e controle de qualidade ao longo das fases do projeto. Entre os usos do BIM, destacam-se a detecção de interferências, extração de quantidades, e análise de construtibilidade, todos centralizados em um Ambiente Comum de Dados (CDE), conforme a NBR ISO 19560. O artigo destaca os processos e desafios enfrentados na implementação do BIM, especialmente devido à falta de normatização específica para obras públicas no setor de saneamento e pela adaptação dos requisitos contratuais ao *Yellow Book*. Apesar disso, o uso do BIM permitiu maior precisão e redução de erros, minimizando retrabalhos e promovendo uma comunicação mais eficaz entre as partes. A adoção de práticas de verificação de qualidade, auditoria e gestão integrada da informação mostrou-se fundamental para o sucesso do projeto. Conclui-se que o BIM trouxe ganhos significativos para o projeto Transparaíba, reforçando sua aplicabilidade em projetos complexos e recomendando a regulamentação do uso do BIM em obras públicas. Para projetos futuros, sugere-se maior detalhamento dos requisitos BIM no processo de contratação e diretrizes normativas que ampliem a adoção do BIM no setor público de infraestrutura, visando à eficiência e sustentabilidade dos investimentos.

Palavras-chave: Abastecimento de água. Inovação. Gestão de projetos. Eficiência. Contratação Integrada.

Abstract

This article analyzes the implementation of Building Information Modeling (BIM) methodology in the Transparaíba – Ramal Cariri water infrastructure project, which aims to ensure water security for the region. This project covers 18 municipalities and rural communities, focusing on the distribution of treated water, especially in semi-arid areas, through an approximately 370 km water supply system with a flow rate of 410 l/s. The contract follows the Plant and Design-Build model (FIDIC Yellow Book), funded by the World Bank, and demands high integration between design and construction, requiring rigorous technical supervision. The BIM requirements in the bidding process include the development of a BIM Execution Plan (BEP) with clear specifications on BIM processes. The guidelines incorporate the use of open formats (OpenBIM), such as .IFC and BCF, to foster a collaborative environment that ensures transparency and quality control throughout the project phases. Among the uses of BIM, the detection of interferences, quantity take-offs, and constructability analysis are highlighted, all centralized within a Common Data Environment (CDE), in accordance with NBR ISO 19560. The article highlights the processes and challenges faced in implementing BIM, especially due to the lack of specific standards for public works in the sanitation sector and the need to adapt contractual requirements to the Yellow Book. Despite these challenges, the use of BIM allowed for greater accuracy and error reduction, minimizing rework and promoting more effective communication among stakeholders. The adoption of quality verification, auditing, and integrated information management practices proved fundamental to the project's success. It concludes that BIM has brought significant benefits to the Transparaíba project, reinforcing its applicability in complex projects and recommending the regulation of BIM use in public works. For future projects, greater detail of BIM requirements in the contracting process and normative guidelines are suggested to expand BIM adoption in the public infrastructure sector, aiming at investment efficiency and sustainability.

Keywords: Water Supply. Innovation. Project Management. Efficiency. Integrated Contracting.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por soluções eficientes e sustentáveis em obras de infraestrutura tem impulsionado o uso de tecnologias digitais, especialmente o *Building Information Modeling* (BIM). Em grandes projetos públicos, a exemplo da Obra Transparaíba – Ramal Cariri, uma iniciativa essencial para a segurança hídrica do Estado da Paraíba, a adoção do BIM se apresenta como fundamental para enfrentar os desafios técnicos e operacionais, promovendo uma gestão integrada e precisa das informações ao longo do ciclo de vida do projeto.

Este artigo tem como objetivo analisar a implementação do BIM no projeto Transparaíba, destacando os benefícios e as barreiras, com foco em obras públicas de saneamento. Através de uma análise detalhada, o estudo contribui para compreensão das práticas adotadas, identificando como o BIM pode superar desafios comuns em projetos de grande escala, como a coordenação entre disciplinas, compatibilização de projetos e controle de qualidade. O estudo discute oportunidades e recomendações para adoção eficiente do BIM em projetos futuros, destacando a importância de regulamentações específicas e capacitação técnica no setor.

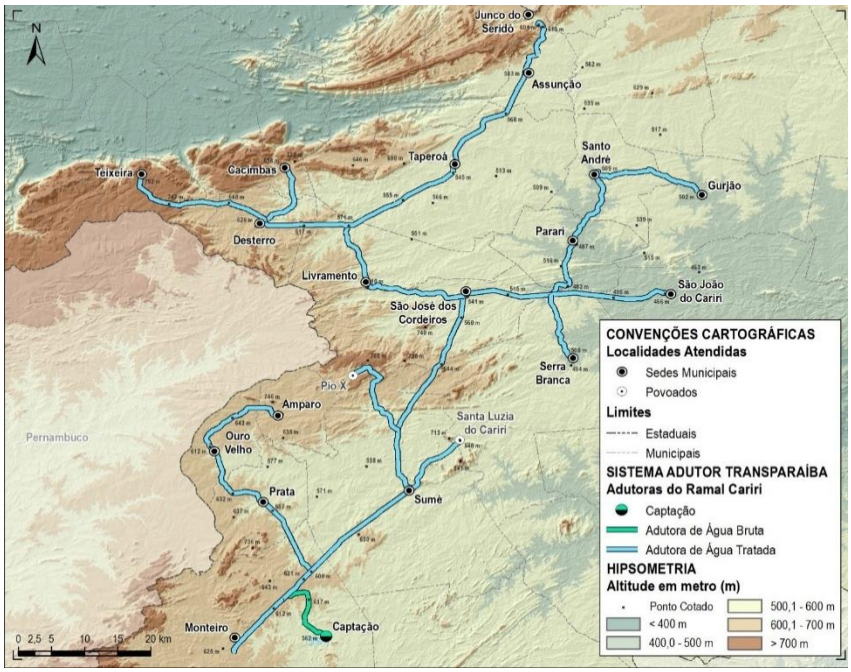
O PROJETO

Área e Escopo

O projeto Transparaíba – Ramal Cariri está localizado no Estado da Paraíba, Brasil, abrangendo uma extensa área que inclui 18 sedes municipais, dois distritos e 37 chafarizes para atendimento de comunidades rurais, com o objetivo de garantir o abastecimento de água tratada para essas localidades. A obra é parte do Programa de Segurança Hídrica do Estado da Paraíba (PSH-PB) e tem um papel vital para a região, especialmente para mitigar os impactos da escassez de água. A área de intervenção abrange regiões semiáridas, o que intensifica a necessidade de um planejamento

cuidadoso e da adoção de tecnologias avançadas como o BIM para garantir a eficiência e a sustentabilidade do projeto.

Figura 1: Arranjo geral da concepção do Sistema Adutor Transparaíba – Ramal Cariri.



O escopo do presente contrato previu a elaboração de estudos, programas, planos, projetos e construção de um sistema adutor de água tratada, denominado SAT - RC, que se refere a implantação de um novo sistema com vazão operacional na captação de 410 l/s e aproximadamente 370 km de adutora com diâmetros entre 100 e 600mm, capaz de garantir segurança hídrica para mais de 600 mil habitantes, o projeto foi geometricamente dividido em 3 seções e estruturadas em 31 Trechos. Atualmente o design da seção 1 está em fase de conclusão e as seções 2 e 3 em fase de desenvolvimento e revisão.

MODELO DE CONTRATAÇÃO (YELLOW BOOK / FIDIC)

Por contar com financiamento internacional do BANCO INTERNACIONAL PARA RECONSTRUÇÃO E DESENVOLVIMENTO – BIRD (BANCO MUNDIAL) o projeto foi contratado sob o modelo *Plant and Design-Build Contract 2nd Ed (2017 Yellow Book)* da FIDIC (Federação Internacional de Engenheiros Consultores), e segue a estrutura de Design & Build, ou seja, o contratado, denominado EMPREITEIRO é responsável pela concepção e execução da obra. Esse modelo confere ao consórcio executor a responsabilidade pelo projeto executivo, exigindo um alto nível de coordenação e integração entre as equipes de design e construção.

ATRIBUIÇÕES DO ENGENHEIRO, EMPREITEIRO E CLIENTE

No modelo FIDIC *Yellow Book*, as atribuições de cada parte envolvida são bem definidas. O ENGENHEIRO tem um papel central na supervisão técnica, sendo responsável por garantir que os projetos atendam aos padrões de qualidade e estejam em conformidade com as especificações contratuais. O EMPREITEIRO, por sua vez, é responsável pela execução do projeto e pela gestão dos recursos e cronogramas, assegurando a implementação eficiente das soluções de engenharia propostas. O CLIENTE, representado pelo Governo do Estado da Paraíba e CAGEPA, atua como financiador e fiscalizador do projeto, garantindo o cumprimento dos prazos e do orçamento.

O BIM PREVISTO NO CONTRATO

BIM NA FASE DE CONTRATAÇÃO

Na fase de contratação do projeto Transparaíba – Ramal Cariri, o BIM foi incorporado como um requisito essencial para a execução eficiente do projeto, conforme especificado no termo de referência.

Apesar de estar parcialmente alinhado com os conceitos da NBR ISO 19.650, este documento apresentava elevada maturidade na orientação de como o BIM deveria ser implementado no Projeto. Destaca-se a exigência de apresentação, na proposta técnica, pelo licitante, de um

> *"Plano de Execução BIM preliminar contendo, pelo menos, a capacitação BIM (incluindo equipamentos, software, comunicação e pessoal), infraestrutura e estratégia para colaboração e coordenação de projeto em BIM (incluindo interoperabilidade)" (Edital de Licitação, 2022, pg. 47).*

Exigir, como um dos Cargos-chave um Gerente BIM, com "Experiência mínima de 4 (quatro) anos atuando como *BIM Manager* com responsabilidades em Coordenação de Projetos e Planejamento em BIM, em pelo menos um projeto de infraestrutura linear e infraestruturas locais associadas." *(Edital de Licitação, 2022, pg. 67).* Como também dar destaque na Proposta Técnica, à adequação da abordagem e metodologia em relação à:

> *"Estratégia para utilização da Modelagem da Informação da Construção (BIM) no desenvolvimento, coordenação e documentação gráfica dos projetos, bem como no levantamento do terreno / condições existentes, planejamento/controle da evolução da obra e geração de modelo as-built" (Edital de Licitação, 2022, pg. 76).*

O planejamento inicial (Pré-BEP) visava a estabelecer diretrizes claras para a utilização do BIM, desde o desenvolvimento dos modelos digitais até a entrega de todos os dados necessários para a gestão e operação do sistema adutor.

ENTREGÁVEIS E USOS PREVISTOS

Por tratar-se de uma contratação pública o contato alinhou-se com os princípios do *OpenBIM* da *buildingSMART International* através da adoção de padrões internacionais abertos, exigindo como entregável principal do design o formato .IFC (versão IFC 2x3 ou posterior) e a geração de relatórios em formato BCF (*BIM Collaboration Format*) durante a fase de revisão do Design. Foi também prevista a entrega de cronograma visual da parte referente às atividades de construção, geradas por aplicativo BIM 4D. Os usos BIM no projeto foram:

- Levantamento de condições existentes
- Projetos Autorais
- Análise de engenharia
- Detecção de interferências e coordenação multidisciplinar
- Extração de quantidades
- Extração de documentação técnica
- Animação das etapas construtivas

GESTÃO DA INFORMAÇÃO E COLABORAÇÃO

Com o contrato firmado o EMPREITEIRO apresentou ao ENGENHEIRO o Plano de Execução BIM (BEP), e obteve sua Não Objeção, este documento orientou todos os processos, garantindo que a

implementação do BIM ocorresse de maneira estruturada e alinhada aos objetivos contratuais e como toda informação produzida durante o Design seria produzida e gerenciada ao longo do projeto. Nele, foram estabelecidas as responsabilidades de cada parte, as metodologias de trabalho colaborativo, os padrões de modelagem e os formatos de intercâmbio de informações.

Para viabilizar a gestão da informação, o termo de referência previa ainda a implementação de um CDE. “Os documentos em formato digital deverão ser entregues através do Ambiente Comum de Dados (CDE) a ser disponibilizado pelo ENGENHEIRO.” (Edital de Licitação, 2022, pg. 223)

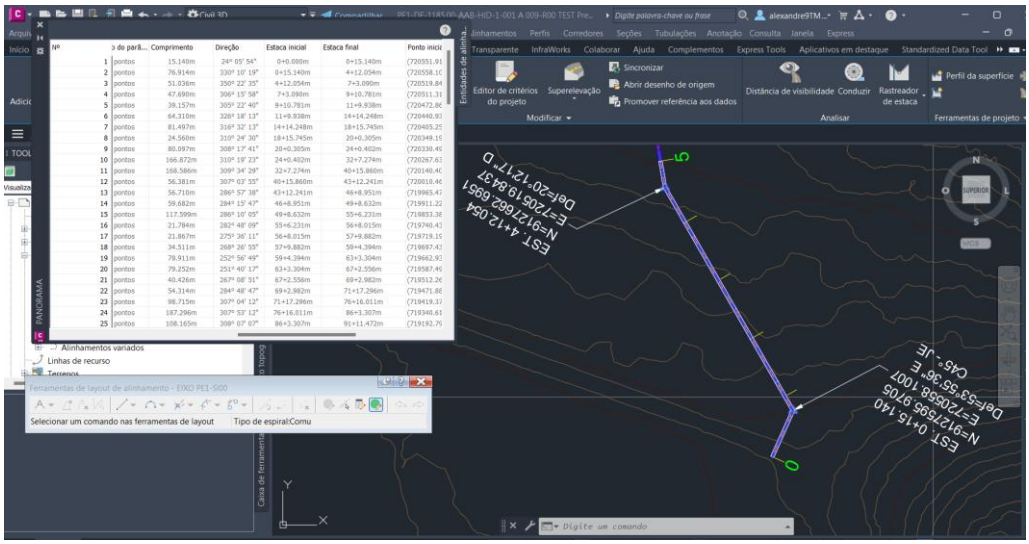
PROCESSOS BIM IMPLEMENTADOS

DESIGN E REQUISITOS DE INFORMAÇÃO

O processo de design foi totalmente produzido através da metodologia BIM, sendo utilizados principalmente os Softwares da AEC Collection da Autodesk o WaterCAD da Bentley e o Allievi da ITA-UPV, garantindo maior precisão nos projetos e na visualização das soluções propostas. As principais disciplinas modeladas foram Arquitetura, Hidráulica, Estruturas, Instalações Elétricas e Automação.

Todos os modelos BIM, bem como as peças gráficas foram representadas no plano de projeção UTM, Meridiano Central 39º WGr., Zona 24 Sul.

Figura 2: Modelagem do encaminhamento das adutoras no Autodesk Civil 3D.

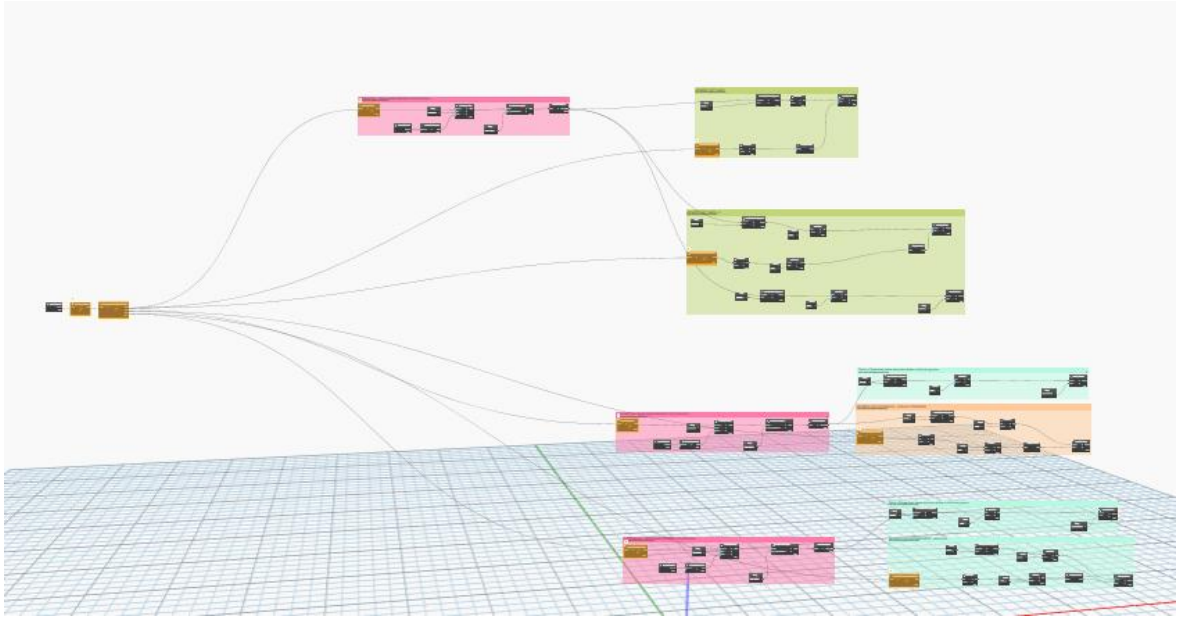


Para atender aos requisitos de troca de informação, foram especificados Requisitos de Informação das Disciplinas (RID) garantindo os níveis de detalhamento e níveis de informação requeridos no TR. Como base foram utilizados o ND’s com Geometria definida com as dimensões específicas para os elementos, e grupos de informação para os NI’s tais como:

- NI1 - Dados Gerais (DG)
- NI 2 - Identificação (ID)
- NI 3 - Uso E Análise (US)
- NI 4 - Quantificação (QT)
- NI 5 - Planejamento E Execução (PE)

Sendo estes dados exibidos nos arquivos .IFC através de PSet específico.

Figura 3: Programação visual (*Autodesk Dynamo*) utilizada para inserir nos elementos os Grupos de Informação (PSet's)



O Dynamo, com incremento da linguagem de programação *Python* e da inteligência artificial *GPT 4º*, também foi utilizado no desenvolvimento de modelagem parametrizada, produção de documentações técnicas e quantificações.

Figura 4: Algumas das Rotinas Dynamo elaboradas para o projeto.

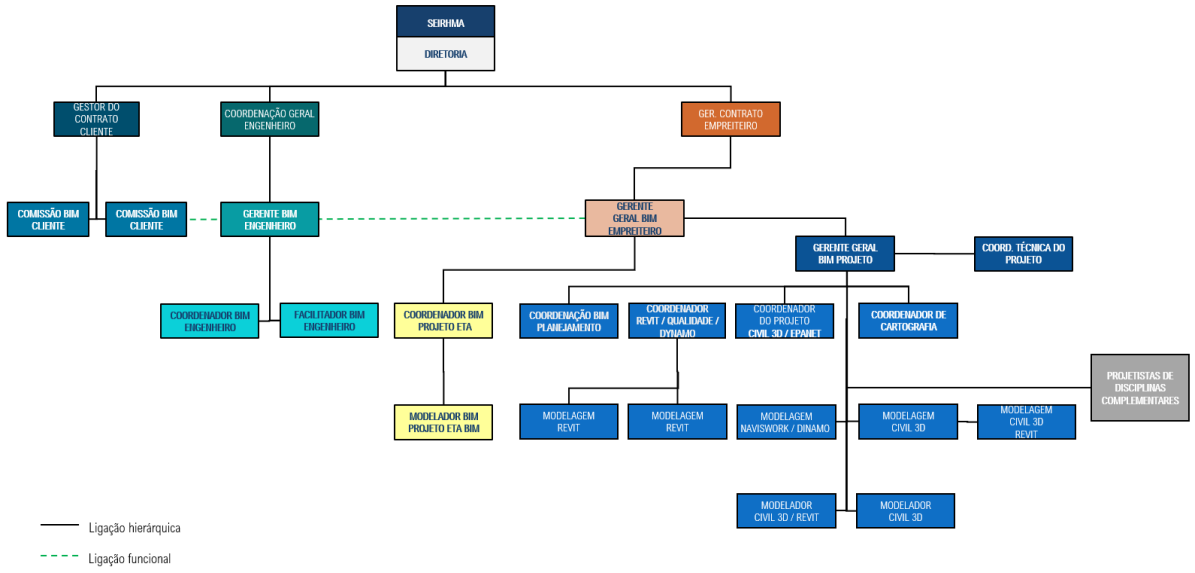
- CAD - Inserir Ventosa e Descarga com base em Perfil.dyn
- CAD - Inserir Ventosas e Descarga - Align e Pview (Multiplos ProfileView).dyn
- CAD - Sincronizar Ventosa e Descarga (Profile to Alignment).dyn
- LABEL - Inserir Label Envelope - Alinhamento e Perfil.dyn
- LABEL - Inserir Label Envelope.dyn
- M3D PSET - Extract Solid From PressurePipe.dyn
- M3D PSET - Extrair solido com PSET.dyn
- PSET - Adutoras.dyn
- PSET - SOLID 3D das Adutoras.dyn
- QTO - Relatório Envelope.dyn
- QTO - Relatório Quantidades Adutora.dyn

Semanalmente são realizadas reuniões com as equipes BIM, para alinhamento sobre os processos, Design Review etc.

COLABORAÇÃO

A alta complexidade da equipe BIM envolvida no projeto, trouxe desafios significativos para a gestão da informação e colaboração.

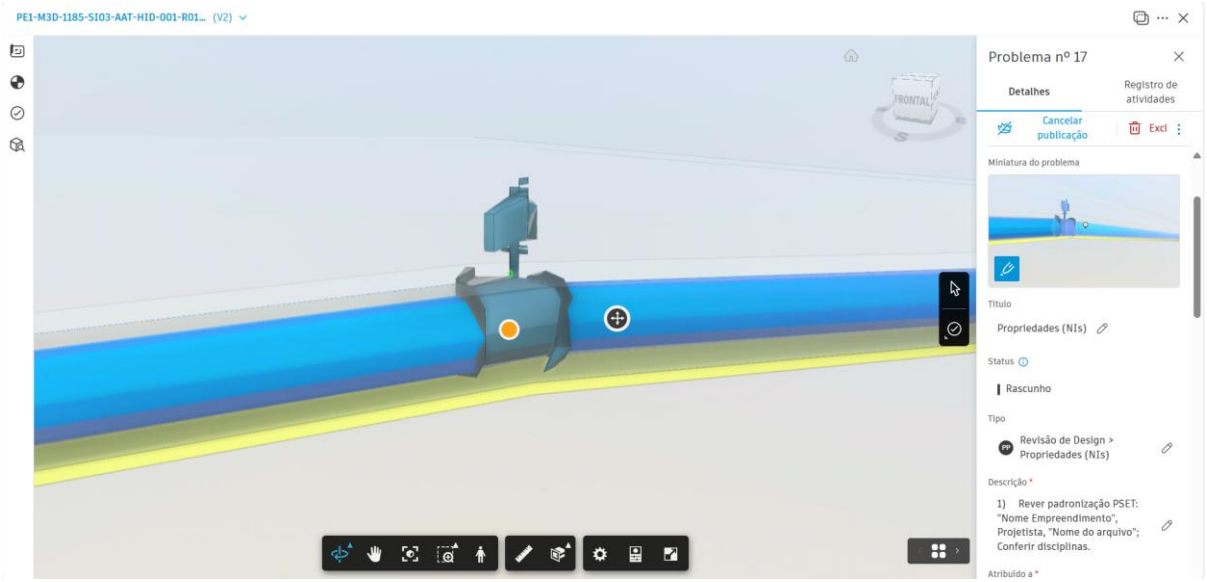
Figura 5: Organograma da Equipe BIM no Projeto SAT-RC.



Dessa forma, foi implementado o CDE *Autodesk ACC*, seguindo a NBR ISO 19560, centralizando todas as informações do projeto, e garantindo que os processos de entrega, revisão e aprovação fossem registrados e realizados de maneira organizada e dentro dos prazos estabelecidos, atingindo os objetivos do contrato e promovendo um trabalho mais eficiente e integrado.

O BCF foi utilizado para facilitar a comunicação entre as equipes técnicas durante a coordenação e revisão dos modelos, garantindo que os problemas fossem resolvidos antes da fase de execução, minimizando retrabalhos e aumentando a eficiência no alinhamento dos requisitos de projeto entre as partes interessadas.

Figura 6: Registro BCF realizado pelo ENGENHEIRO para a revisão/solução do EMPREITEIRO.



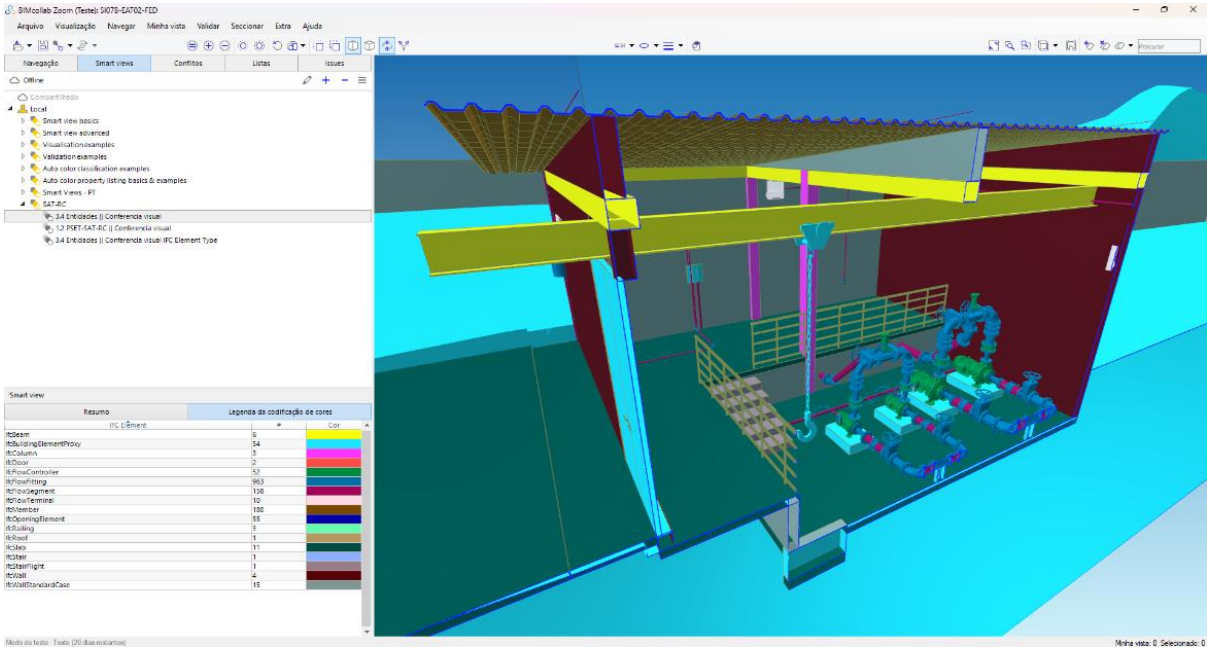
AUDITORIA E QUALIDADE

Foram adotados processos de verificação para garantir o desenvolvimento adequado dos modelos BIM e dos documentos gerados para o projeto. Esta verificação foi orientada pelos Critérios de Qualidade dos Modelos BIM, BEP e TR e realizada pelo *BIM Manager* do EMPREITEIRO em primeira instância e

posteriormente pelo *BIM Manager* do ENGENHEIRO para a emissão da Não Objeção aos documentos analisados.

A padronização e automação das verificações de qualidade nos modelos garantiu que erros e inconsistências fossem identificados e corrigidos de forma estruturada, reduzindo a necessidade de retrabalhos na fase de execução.

Figura 7: Processo de auditoria do EMPREITEIRO em modelo federado utilizando *BIMcollab Zoom.*

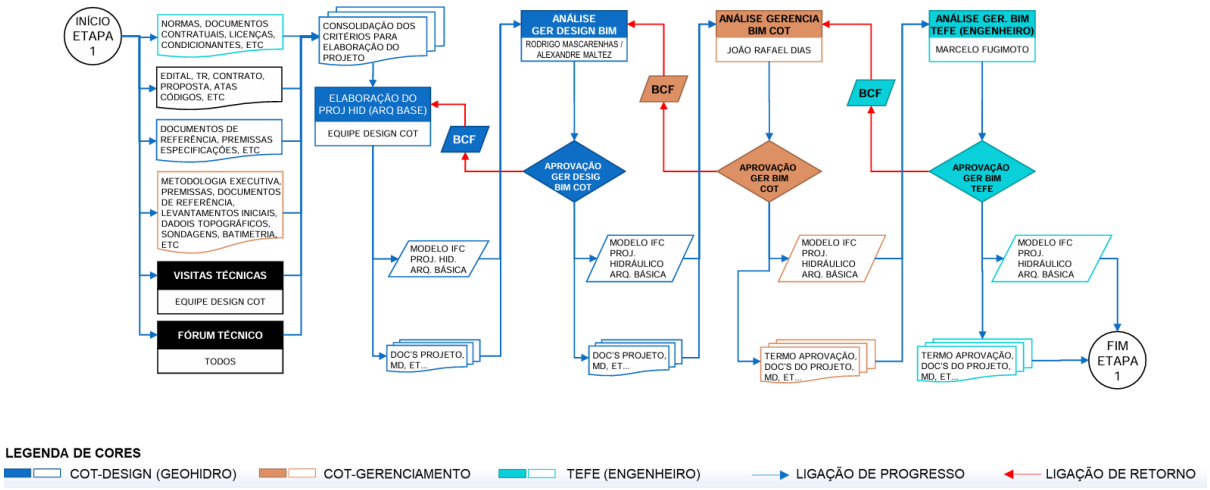


Equipes técnicas específicas do EMPREITERO e ENGENHEIRO realizaram ainda as análises técnicas de engenharia, visando verificar se os modelos representam corretamente as soluções de engenharia e sua conformidade com as premissas contratuais, bem como com as normas e instruções técnicas aplicáveis.

REVISÃO E APROVAÇÃO

O processo de Entrega do EMPREITEIRO ao ENGENHEIRO foi estruturado utilizando a função Transmissões do *Autodesk ACC* no qual todos os envolvidos são notificados e podem acessar os modelos e documentos em tempo real, a utilização da função Revisões, estruturada em duas etapas, e dos *Issues (.BCF)* acelerou o processo de revisão e garantiu que as aprovações fossem feitas com base em informações atualizadas e precisas.

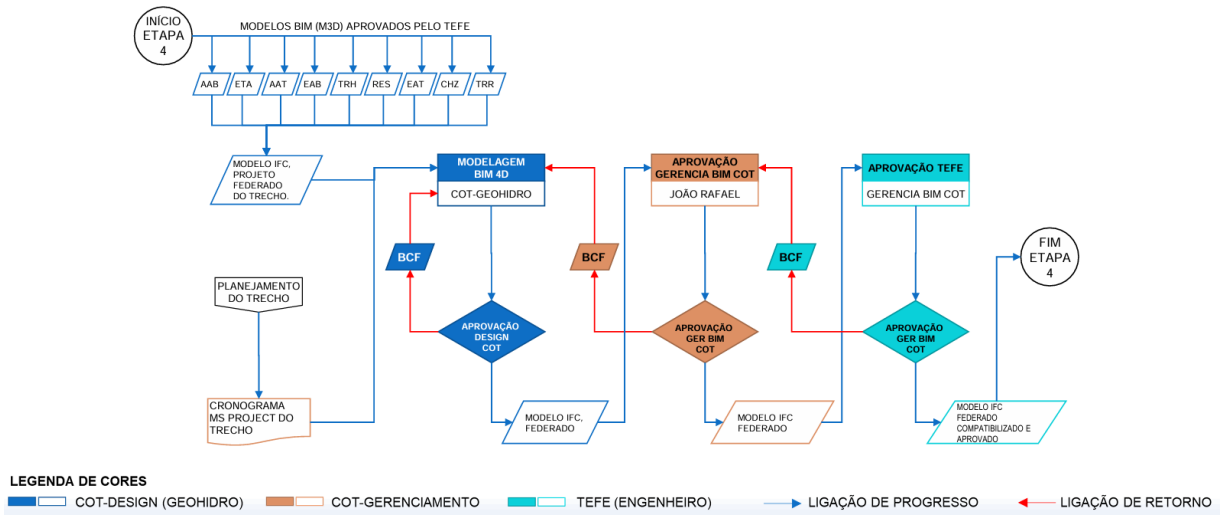
Figura 8: Fluxograma de análises e aprovações do projeto Hidráulico e Arquitetura base.



CONSTRUTIBILIDADE

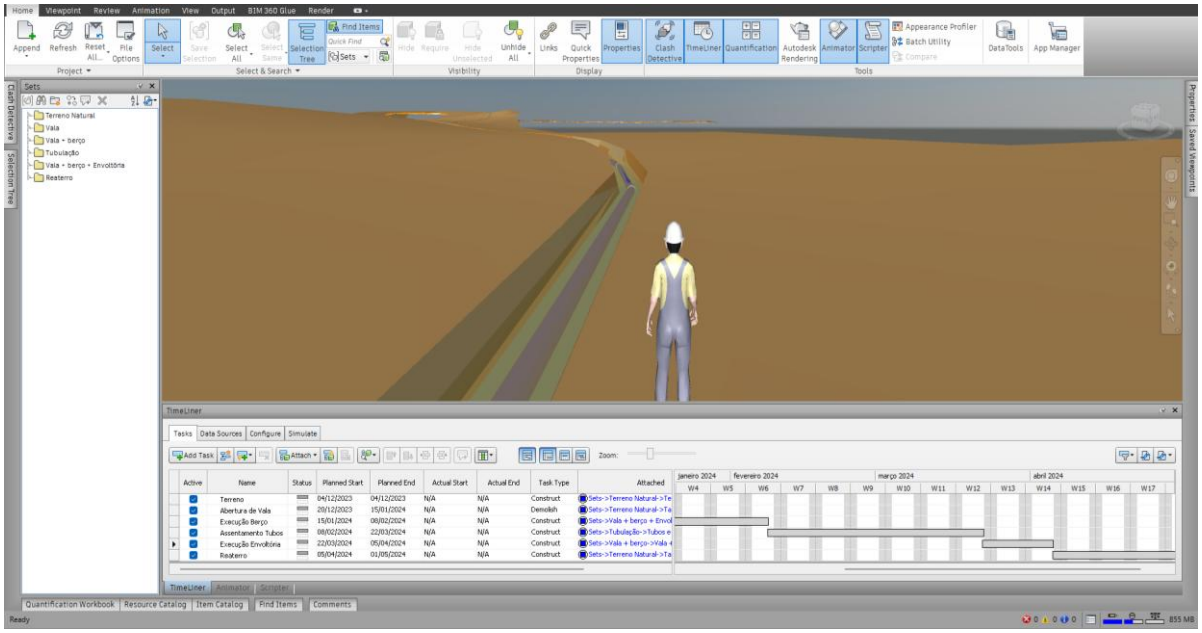
Após a aprovação do modelo federado e do cronograma de obras pelo ENGENHEIRO serão iniciados os estudos de Construtibilidade e Validação da metodologia construtiva, com utilização de modelos BIM para verificar a viabilidade da construção e simular o planejamento executivo, analisar o fluxo de trabalho e a logística e identificar os riscos e promover a detecção de interferências temporais.

Figura 9: Fluxograma de análise e aprovação da simulação da construção.



Para realizar esses estudos foram utilizados o *Microsoft MS Project* e *Autodesk Navisworks* e gerados como produtos vídeos e imagens de alta resolução.

Figura 10: Processo de vinculação do cronograma de obras ao modelo no Autodesk Navisworks.



DESAFIOS E OPORTUNIDADES NA IMPLEMENTAÇÃO

A implementação do BIM no projeto Transparaíba – Ramal Cariri revelou uma série de desafios inerentes à adoção dessa tecnologia em obras públicas de saneamento, como a necessidade de integração entre o BIM e os sistemas tradicionais utilizados pelo setor e a falta de normatização específica para o uso do BIM em obras públicas. Além disso, a falta de detalhamento e maturidade dos requisitos de BIM no edital de contratação e no FIDIC *Yellow Book* exigiu adaptações e ajustes contínuos ao longo do processo.

Apesar dos desafios, a adoção do BIM gerou oportunidades significativas para otimização e melhoria de processos no projeto Transparaíba. A possibilidade de integração e compatibilização das diversas disciplinas técnicas resultou em maior precisão dos modelos e na mitigação de erros, reduzindo retrabalhos e melhorando a qualidade do produto. A implementação de um Ambiente Comum de Dados (CDE), aliado ao uso do *BIM Collaboration Format* (BCF), promoveu uma comunicação mais eficiente entre as partes, facilitando o acompanhamento em tempo real e garantindo maior transparência para o cliente e demais stakeholders. Essas práticas trouxeram benefícios tangíveis para o gerenciamento e execução do projeto, ressaltando o BIM como uma ferramenta valiosa para a gestão de obras complexas de infraestrutura hídrica. Para futuros projetos, recomenda-se o estabelecimento de regulamentações específicas para o BIM em obras públicas e a criação de iniciativas de capacitação técnica direcionada, buscando promover uma adoção mais ampla e eficiente da metodologia no setor.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 12006-02:2011. Organização de informação da construção. Parte 2: Estrutura para classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO – 15965:2014. Sistema de Classificação da Informação da Construção: Terminologia e Estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 19650-1: 2022. Organização da informação acerca de trabalhos da construção – Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção. Parte 1: Conceitos e princípios. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. *BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. 2. ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2011.

FEDERATION INTERNATIONALE DES INGENIEURS-CONSEILS. *Conditions of contract for plant and design-build: for electrical and mechanical plant, and for building and engineering works, designed by the contractor*. 2. ed. Geneva: FIDIC, 2017.

Glove, J.; *The application of BIM under the FIDIC Form of Contract, Fenwick Elliott* Disponível em: *https://www.fenwickelliott.com/research-insight/newsletters/international-quarterly/appllication-bim-fidic-form-contract* Acesso em: 10 outubro 2024.

PARAÍBA (Estado). Secretaria de Estado da Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e do Meio Ambiente. Edital de Licitação: Contratação de estudos, planos, design (projeto executivo) e execução das obras do Sistema Adutor Transparaíba – Ramal Cariri. João Pessoa, 2022.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Método para precificação de projetos BIM

Method for pricing BIM projects

Ana Carolina Contaldi F. de Andrade | Sondotécnica | ana.andrade@sondotecnica.com.br
Ferrucio Frediani Duro | Consórcio Urban SP | ferrucio.duro@urbansp.com.br
Glaucia de Assis Moura Alexandre | Sondotécnica | glaucia.alexandre@urbansp.com.br
José Ivonildo R. da Silva Filho | Sondotécnica | jose.filho@sondotecnica.com.br
Aline Prado Costa | Sondotécnica | aline.costa@sondotecnica.com.br | 0009-0005-7821-0678

DOI: 10.5281/zenodo.14428044

Resumo

A precificação do desenvolvimento de projetos é uma tarefa desafiadora porque envolve tanto variáveis técnicas, quanto questões subjetivas, relacionadas à produção intelectual, que é mais difícil de ser mensurada. Projetos contratados pelo Poder Público são geralmente remunerados por fases (estudo preliminar, projeto básico, projeto executivo) com valores fixados por pranchas. Entre os principais fatores que dificultam a precificação estão: deficiência na definição do escopo, complexidade técnica, tempo de desenvolvimento e principalmente os critérios adotados para a medição dos produtos. O desafio é ainda maior quando falamos de precificação de projetos desenvolvidos em Modelagem de Informação da Construção (*Building Information Modeling* - BIM). Diferentemente dos projetos convencionais, o BIM envolve modelo tridimensional com informações, exigindo que diversas disciplinas como arquitetura, estrutura, hidráulica, elétrica entre outras, trabalhem em conjunto desde as fases iniciais do projeto, facilitando tarefas de compatibilização e detecção de erros. Entretanto, as fases de projetos não são facilmente caracterizadas devido à necessidade de definições no início do processo, demandando maior coordenação e aumentando tempo e recursos necessários para a modelagem. Deste modo, o método tradicional para precificação de projetos, baseada em número de pranchas produzidas, mostra-se inadequada para projetos desenvolvidos em BIM. O objetivo deste trabalho é desenvolver um método de precificação de projetos desenvolvidos em BIM, baseado na mobilização da equipe técnica de acordo com as disciplinas envolvidas e na proporcionalidade de esforço estimado para o desenvolvimento do projeto. O método adotado consistiu na análise detalhada das características dos estudos de massas que servirão de base para o desenvolvimento dos projetos executivos de edificação de Habitação de interesse Social (HIS). Os seguintes procedimentos foram seguidos: (i) verificação dos critérios atuais de precificação de projetos; (ii) seleção de critérios adequados para mensuração de esforço para modelagem BIM; (iii) geração de planilha automatizada para quantificação de horas técnicas e (iv) precificação do projeto. Como resultado, os critérios de remuneração pelo método tradicional por pranchas foram alterados para critérios de remuneração global, por pacote de produto. Os critérios de precificação passaram a considerar o esforço de modelagem, abrangendo aspectos como: desnível do lote, nível de intervenção geotécnica, formato da laje do edifício, tipos de pavimento diferentes projetados, área do pavimento, tipo de circulação vertical, tipo de fachadas, quantidade de tipos de unidades habitacional (UH) por pavimento, lajes em balanço no pavimento tipo, quantidade e tipo de escadas da edificação. Os parâmetros considerados foram lançados em uma planilha automatizada que transforma estas informações em horas técnicas, que correspondem ao esforço necessário para a elaboração do projeto. Com a metodologia adotada a elaboração de orçamento se mostrou mais rápida, objetiva e transparente, permitindo que o custo do projeto reflita o esforço efetivo necessário, o qual pode variar de acordo com a complexidade do

projeto. Com essa abordagem, a partir dos dados gerados também foi possível produzir um cronograma estimado de prazo para o desenvolvimento dos projetos. O método desenvolvido para este caso específico pode ser adaptado e adotado na precificação de outros tipos de projetos.

Palavras-chave: Precificação. Contratação. BIM. Projetos. HIS.

Abstract

Pricing of projects development is a challenging task because it involves both technical variables and subjective issues related to intellectual production, with are harder to quantify. Projects contracted by public authorities are generally compensated in phases (preliminary study, basic project, executive project) with values set per drawing. Among the main factors that complicate pricing are: deficiencies in scope definition, technical complexity, development time, and especially criteria used for measuring deliverables. The challenge is even greater when we talk about pricing projects developed using Building Information Modeling (BIM). Unlike conventional projects, BIM involves a three-dimensional model with integrated information, requiring various disciplines such as architecture, structure, hydraulics, and electrical engineering to collaborate from early phases of project, facilitating tasks of coordination and error detection. However, projects phases are not easily characterized due to need for definitions at process beginning, demanding greater coordination and increasing time and resources necessary for modeling. Thus, traditional method for pricing projects, based on number of drawings produced, proves inadequate for BIM-developed projects. The objective of this work is to develop a pricing method for projects developed in BIM, based on mobilization of technical team according to involved disciplines and proportionality of estimated effort required for project development. The adopted method consisted of a detailed analysis of mass studies characteristics that will serve as the foundation for executive design of Social Housing (HIS) projects. The following procedures were followed: (i) verification of current criteria for project pricing; (ii) selection of appropriate criteria for measuring effort for BIM modeling; (iii) generation of an automated spreadsheet for quantifying technical hours; and (iv) project pricing. As a result, compensation criteria under traditional method based on drawings were changed to global compensation criteria based on product packages. The pricing criteria began to consider modeling effort, encompassing aspects such as: lot elevation, level of geotechnical intervention, building slab shape, different types of flooring designed, floor area, type of vertical circulation, facade types, quantity of different housing unit (UH) types per floor, cantilevered slabs at floor type, and quantity and type of stairs in building. The parameters considered were entered into an automated spreadsheet that converts this information into technical hours, reflecting effort required to produce the project. With adopted methodology, budget preparation process became faster, more objective, and transparent, allowing project cost to reflect actual effort required, which can vary according to project complexity. With this approach, it was also possible to generate an estimated timeline for project development based on generated data. The method developed for this specific case can be adapted and applied to the pricing of other types of projects.

Keywords: Pricing. Contracting. BIM. Projects. HIS.

INTRODUÇÃO

A adoção do BIM na execução de projetos arquitetônicos e de engenharia no Brasil tem se tornado cada vez mais frequente e ganhou mais relevância a partir de 2017, quando o Governo Federal criou o Comitê Estratégico de Implementação do BIM (Decreto 14.473/17) e instituiu a Estratégia BIM BR - Estratégia Nacional de Disseminação do BIM no Brasil (Decreto 9.377/18, revogado pelo Decreto 9.983 em 2019 e posteriormente pelo Decreto 11.888 em 2024) [1].

Neste contexto, em abril de 2020 foi publicado o Decreto 10.306 [2] estabelecendo o uso do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e entidades administração pública federal alinhada a Estratégia BIM – BR. Em abril de 2021 foi aprovada a Lei de Licitação e Contratos Administrativos (Lei nº 14.133) [3] que em seu Artigo 19, Inciso V, parágrafo 3º estabelece o uso preferencial do BIM nas licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura. Alinhando-se a essas publicações, vários documentos foram criados com definições básicas, normas, procedimentos e recomendações para a implementação e contratação do BIM.

Dentre os principais, podemos destacar:

- Guia AsBEA de Boas Práticas em BIM publicado pela Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura (AsBEA) [4];
- Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras, publicada pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) [5];
- Caderno de Projetos em BIM publicado pela Secretaria de Habitação do Município de São Paulo [6];
- Caderno 11 - Especificações Técnicas para Contratação de Projetos em BIM, publicado pela Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística (SEIL) do Paraná [7];
- Guias de Contratação BIM, publicado pelo BIM Fórum Brasil [8].

Apesar desse amplo referencial, pouco se fala sobre a maneira de precificar o desenvolvimento de projetos utilizando a metodologia BIM.

A precificação do desenvolvimento de projetos é uma tarefa complexa e multifacetada que envolve não apenas variáveis técnicas, mas também questões subjetivas relacionadas à produção intelectual. Essa dualidade torna a mensuração do valor dos serviços prestados um desafio significativo.

No contexto das contratações realizadas pelo Poder Público, os projetos de engenharia e arquitetura são tipicamente remunerados em fases — como estudo preliminar, projeto básico e projeto executivo — com valores estabelecidos com base na quantidade de pranchas produzidas.

Diversos fatores contribuem para as dificuldades na precificação. A deficiência na definição do escopo do projeto pode levar a ambiguidades que impactam o entendimento dos profissionais sobre as expectativas do cliente.

Além disso, a complexidade técnica envolvida em determinados projetos pode resultar em variações significativas no esforço necessário para sua execução requerendo maior especialização, tempo de desenvolvimento e, consequentemente, mais recursos. O tempo de desenvolvimento requerido para cada fase do projeto também é um elemento crítico que deve ser considerado.

Estimar corretamente o tempo total de execução do projeto sem subestimar etapas críticas é fundamental para evitar prejuízos como por exemplo custos indiretos como horas extras. Por último, mas não menos importante, os critérios utilizados para medir os produtos entregues desempenham um papel fundamental na definição dos honorários.

Essa problemática se torna ainda mais acentuada quando consideramos a precificação de projetos desenvolvidos utilizando a metodologia BIM. Adotar o BIM significa abandonar um processo de desenvolvimento baseado em representações 2D.

No projeto tradicional, realizado por meio de software de desenho assistido por computador (CAD), é necessário primeiro desenvolver uma documentação preliminar para cada disciplina, que geralmente trabalha de forma isolada, resultando em pranchas que podem não estar perfeitamente integradas. Com base nessa documentação preliminar será feita a compatibilização e a revisão e a entrega de cada disciplina.

Ao contrário dos projetos tradicionais, o BIM integra um modelo tridimensional repleto de dados que não só representa a geometria física do edifício, mas também integra informações essenciais sobre os materiais e especificações técnicas. Essa nova abordagem demanda a colaboração efetiva de todas as disciplinas envolvidas desde as fases iniciais do projeto.

A integração das diferentes áreas facilita a compatibilização de informações e a detecção de erros, promovendo um processo de desenvolvimento mais eficiente, porém as fases do projeto são difíceis de serem caracterizadas de maneira clara e objetiva devido à necessidade de definições precisas no início do processo exigindo uma coordenação aprimorada entre as equipes além de tempo e recursos necessários para a modelagem.

Nesse cenário o método tradicional de precificação, que se baseia no número de pranchas produzidas, revela-se inadequado para projetos desenvolvidos em BIM, apontando para uma necessidade urgente de novas abordagens que considerem a complexidade, a colaboração e a inovação inerentes a esta nova metodologia de desenvolvimento de projetos, visando a criação de um modelo de precificação que reflita com precisão o esforço e os recursos exigidos para a realização de projetos técnicos de alta qualidade.

JUSTIFICATIVA

O trabalho foi desenvolvido visando precificar adequadamente os projetos desenvolvidos em BIM cuja contratação foi objeto de licitação publicada pela Secretaria Municipal de Habitação de São Paulo – SEHAB para a prestação de serviços técnicos especializados em arquitetura e engenharia visando à elaboração de projetos de habitação de interesse social (HIS) com a utilização de procedimentos BIM - Modelagem da Informação da Construção.

Para se alcançar o objetivo de realização de uma obra virtual, SEHAB optou por não utilizar fases de projeto, criando-se um fluxo de trabalho definindo marcos de validação para acompanhar e garantir a evolução e qualidade dos projetos. Para cada marco de validação foram previstas entregas de Pacotes de Produtos e para cada Pacote de Produto foi estipulado um escopo.

O projeto deve ser desenvolvido a partir do plano de massas ou estudo preliminar fornecido por SEHAB. O processo de desenvolvimento do projeto engloba análise técnica dos produtos resultantes da concepção inicial (Plano de Massas ou o Estudo Preliminar) a elaboração do projeto propriamente dita (modelagem 3D e memórias de cálculo) e da documentação gráfica (pranchas).

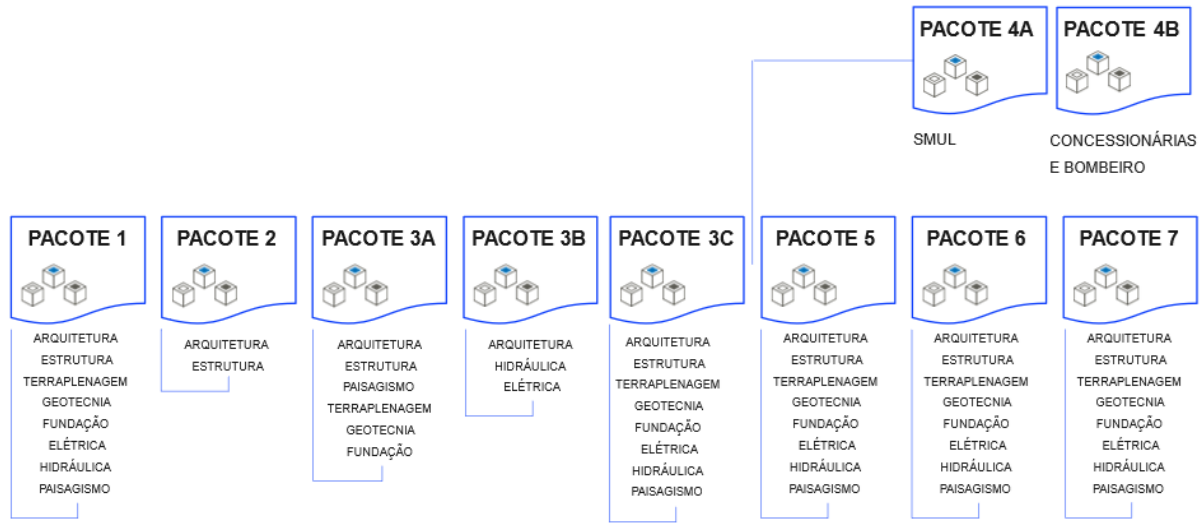
As entregas dos modelos são efetuadas através de arquivos em formato IFC (*Industry Foundation Classes*), separados por disciplinas e a federação dos modelos ocorre no Ambiente Comum de Dados (CDE).

MÉTODO

O método adotado consistiu na análise detalhada das características dos estudos de massas que servirão de base para o desenvolvimento dos projetos executivos de edificação de Habitação de interesse Social (HIS). Os seguintes procedimentos foram seguidos: (i) verificação dos critérios atuais de precificação de projetos; (ii) seleção de critérios adequados para mensuração de esforço para modelagem BIM; (iii) geração de planilha automatizada para quantificação de horas técnicas e (iv) precificação do projeto.

Considerando o fluxo de trabalho estipulado por SEHAB e que cada pacote de produto possui um escopo definido e um marco de validação, partiu-se do princípio de que a validação de cada pacote de produto preferencialmente deve ser associada a uma parcela de remuneração.

Figura 1: Pacotes de Produtos.



Fonte: Adaptado pelos autores.

Após pesquisa e análise dos dados históricos da empresa, e com base no Know-how (saber fazer) da equipe técnica em elaboração e análise técnica de projetos de edificação e nos estudos de massa, foram estabelecidos critérios para medir o esforço envolvido no desenvolvimento dos projetos de cada disciplina e em cada pacote de produto. Os critérios de avaliação foram delineados em dois níveis: características do lote e aspectos da edificação.

Primeiro nível - características do lote:

1. Desnível do Lote, em metros;
2. Nível de intervenção geotécnica

Segundo nível - aspectos da edificação:

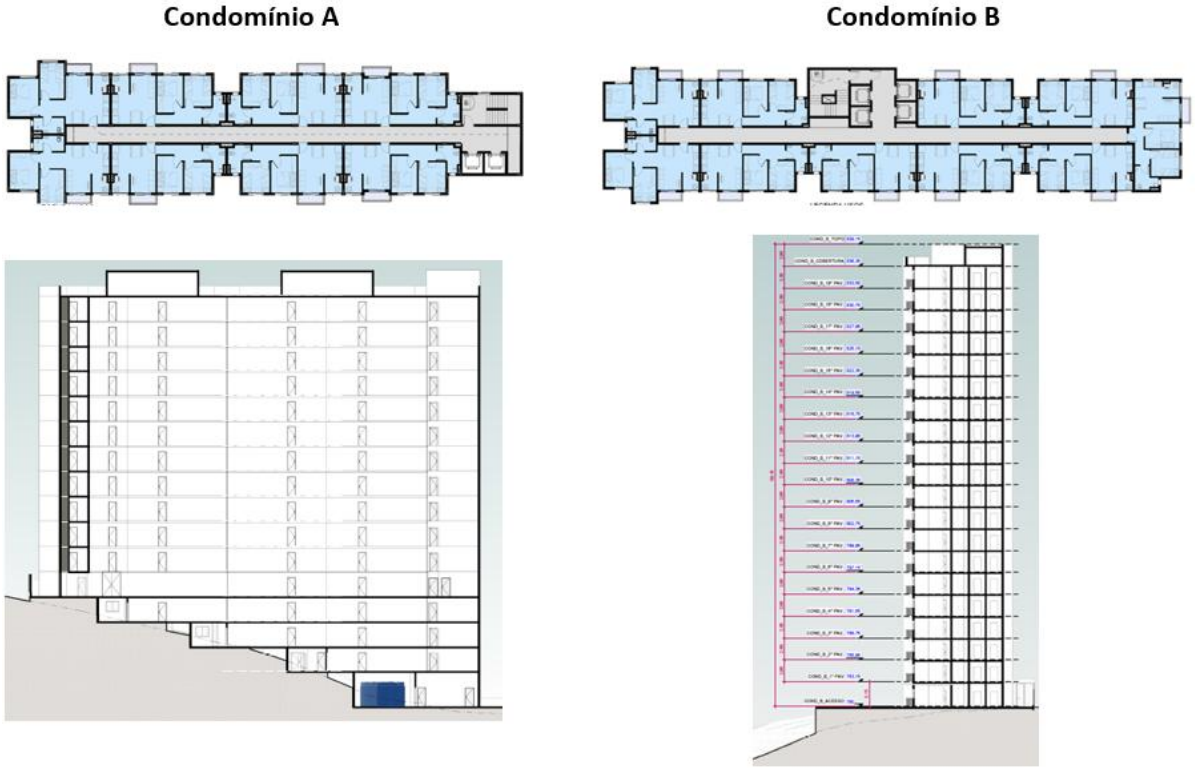
1. Formato da Laje do Edifício;
2. Tipos de Pavimento Diferentes;
3. Área dos Pavimentos em m2;
4. Tipo de circulação;
5. Quantidade de UH por Pavimento Tipo;
6. Quantidade de tipos de UH;
7. Tipo de Fachadas;
8. Quantidade de escadas;
9. Tipo de Escadas.

Com base nos critérios definidos, foi feita uma análise detalhada das características dos estudos de massas que servirão de base para o desenvolvimento dos projetos executivos de edificação de Habitação de Interesse Social (HIS).

Os parâmetros considerados foram lançados em uma planilha automatizada que transforma essas informações em horas técnicas que são utilizadas para compor o orçamento do projeto. Cada pacote de produto terá um valor e a soma total dos valores dos pacotes corresponde ao valor total do projeto.

O método foi aplicado em dois casos práticos: a área denominada Condomínio A, com previsão de implantação de 105 unidades habitacionais e área denominada Condomínio B, com previsão de implantação de 195 unidades habitacionais, a Figura 2 a seguir ilustra o estudo preliminar fornecido.

Figura 2: Estudo preliminar elaborado por SEHAB.



Fonte: SEHAB.

O Condomínio A apresenta um grande desnível de lote e uma geotecnia integrada ao corpo da edificação, com níveis inferiores e implantação escalonada. Sua laje é retangular, e existem seis tipos diferentes de pavimentos a serem projetados.

A circulação interna é retangular e centralizada com unidades em ambos os lados; a circulação vertical é única localizada em uma das extremidades e as fachadas apresentam um baixo grau de recorte. Há dois tipos de planta de unidade habitacional por pavimento, com lajes em balanço e uma escada enclausurada à prova de fumaça.

O Condomínio B, tem um desnível de lote um pouco menor que o Condomínio A, porém a contenção é separada do corpo da edificação. A forma da laje também é retangular, mas neste caso só existem dois tipos diferentes de pavimentos a serem projetados.

A circulação interna é retangular e centralizada com unidades em ambos os lados; a circulação vertical é única e centralizada contudo a área do pavimento é substancialmente maior. A fachada também apresenta um baixo grau de recorte. Há dois tipos de planta de unidade habitacional por pavimento, com lajes em balanço e uma escada também enclausurada e à prova de fumaça.

Na Figura 3 exemplifica-se o levantamento dos dados obtidos a partir da análise dos estudos. Observa-se que apesar de um pavimento tipo semelhante o Condomínio apresenta uma complexidade maior e consequentemente demandando um maior esforço da equipe e uma interdependência maior entre as disciplinas.

Figura 3: Levantamento e análise dos dados.

Dados Analisados	Condomínio A	Condomínio B
Área Terreno (m^2)	1389,67	2972,79
Nº de UH	105	195
Desnível do Lote (m)	15	10
Nível de Intervenção Geotécnica	Terreno em desnível com contenções integradas ao edifício com níveis inferiores	Terreno com desnível e estabilização em contenções separadas da edificação
Formato da Laje do Edifício	Retangular	Retangular
Tipos de Pavimentos Diferentes	6	2
Área do Pavimento (m^2)	574,1	705,63
Tipo de Circulação	Circulação retangular com acesso a unidades dos 2 lados Circulação vertical na extremidade	Circulação retangular com acesso a unidades dos 2 lados Circulação vertical centralizada
UH por pavimento	8	10
Tipologias de UH por pav.	2	2
Tipo de Fachada	Fachada com baixo grau de recorte sacada em balanço	Fachada com baixo grau de recorte sacada em balanço
Quantidade Escadas	1	1
Tipo de Escadas	Escada Enclausurada à prova de Fumaça	Escada Enclausurada à prova de Fumaça

Fonte: os autores.

Após a coleta dos dados, a planilha automatizada (Figura 4) foi preenchida com os critérios considerados, e as informações geradas refletem o esforço necessário (Figura 5) de cada disciplina e em cada pacote para o desenvolvimento do projeto. Esse esforço foi transformado em horas que foram empregadas para elaborar o orçamento do projeto (Figura 6).

Figura 4: Preenchimento da planilha automatizada.

Empreendimento		Área Terreno (m^2)	Nº de UH	Desnível do Lote (m)	Nível de Intervenção Geotécnica	Formato da Laje	Tipos de Pavimentos	Área do Pavimento (m^2)
Condomínio	A	1.389,67	105	13,01-15	Tipo IX	Retangular	6	574,10
Condomínio	B	2.972,79	195	9,01-11	Tipo VI	Retangular	2	705,63

Empreendimento		Circulação Vertical	Quant. UH pav Tipo	Quant. Tipologias de UH	Tipo de Fachada (Frente e Fundo da edificação)	Laje em Balanço Pavimento Tipo (Varanda)	Quant. de Escadas	Tipo de Escada
Condomínio	A	Tipo III	8	2	Recortada G1/ Recortada G1	Sim	1 Escada	Escada Enclausurada à prova de Fumaça
Condomínio	B	Tipo III	10	2	Recortada G1/ Recortada G1	Sim	1 Escada	Escada Enclausurada à prova de Fumaça

Fonte: os autores.

Figura 5: resumo do mapeamento do esforço

MAPEAMENTO DO ESFORÇO	AQ	ET	TR	GT	FD	EL	HD	PG	TOTAL
PACOTE 1	2,40%	1,76%	1,07%	1,55%	1,07%	0,93%	1,02%	0,34%	10,14%
PACOTE 2	2,84%	1,91%	0,50%	0,48%					5,74%
PACOTE 3A	4,59%	3,33%	1,69%	1,64%	1,48%				12,72%
PACOTE 3B	4,21%	2,95%	0,98%	1,59%	1,38%	4,96%	4,53%	0,69%	21,29%
PACOTE 3C	1,03%	1,02%	0,59%	0,67%	0,69%	0,59%	0,72%	0,52%	5,83%
PACOTE 4A	2,02%								2,02%
PACOTE 5	3,02%	2,09%	0,88%	0,88%	0,88%	1,81%	2,02%	0,52%	12,08%
PACOTE 6	5,41%	3,38%	0,98%	1,48%	0,91%	2,22%	2,45%	0,59%	17,43%
PACOTE 7	2,64%	2,31%	1,10%	1,33%	0,93%	1,52%	2,47%	0,59%	12,88%
TOTAL	28,01%	18,65%	7,84%	9,51%	7,36%	12,15%	13,22%	3,26%	100,00%

Fonte: os autores.

Figura 6: exemplo de planilha de horas

PACOTE 7 - CONDOMÍNIO A									
Descrição	un	AQ	ET	TR	GT	FD	EL	HD	PG	TOTAL
Coordenador	H	8,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	36,00
Profissional Sênior	H	14,00	10,00	10,00	10,00	10,00	12,00	12,00	8,00	86,00
Profissional Pleno	H	36,00	44,00	10,00	10,00	10,00	40,00	44,00	8,00	202,00
Profissional Júnior	H	70,00	58,00	28,00	38,00	28,00	40,00	70,00	16,00	348,00
Tec. Sup.	H	70,00	76,00	38,00	46,00	28,00	40,00	70,00	8,00	376,00
Des. Cad.	H	108,00	76,00	38,00	46,00	28,00	40,00	86,00	24,00	446,00

Fonte: os autores.

Com base nesse resultado, gráficos foram elaborados para analisar as informações e identificar possíveis desvios. Conforme podemos observar na Figura 7, o estudo que parecia ser mais simples, seja pelo número de unidades ou pela área, revelou-se um pouco mais complexo devido a todas as características já mencionadas.

Figura 7: Gráficos de análise



Fonte: os autores.

A Figura 8 ilustra que a metodologia também serviu para constatar que o metro quadrado e a quantidade de unidades habitacionais não são critérios adequados para mensurar o esforço necessário.

Figura 8: Orçamento e gráficos de análise.

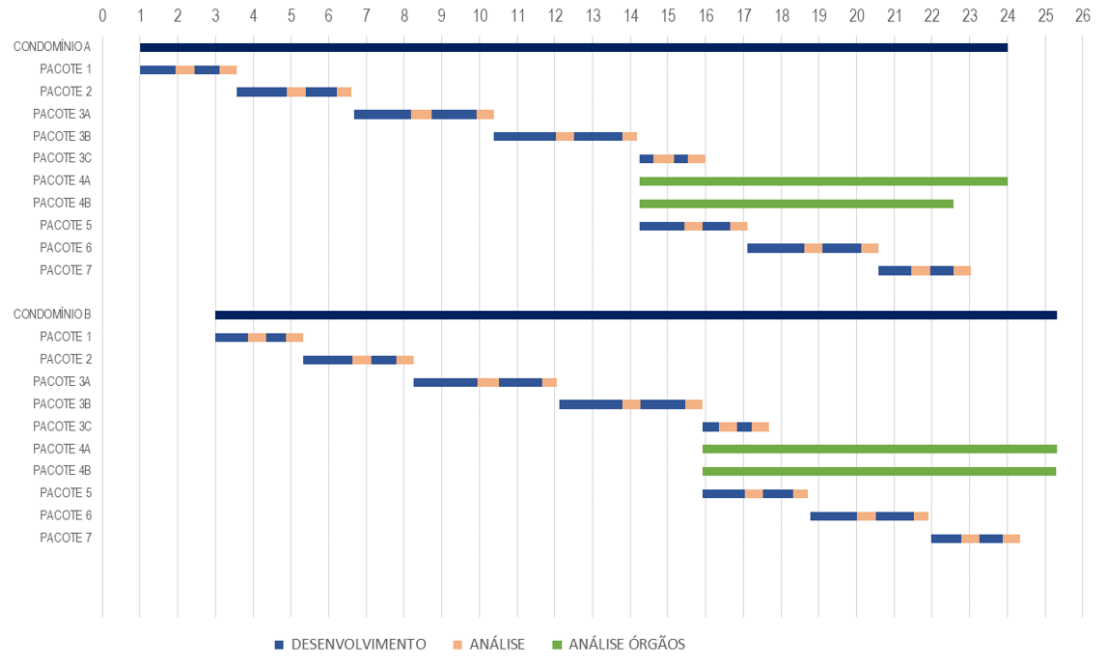
	Condomínio A	Condomínio B
Custo por UH	24.312,86	12.034,09
Custo por M2	335,27	166,68
Custor do Projeto	2.552.850,33	2.346.646,83



Fonte: os autores.

Como resultado, além do orçamento do projeto, também conseguimos estimar um cronograma de prazo (Figura 9) para o desenvolvimento de todo o projeto, já estimando um período para a análise e validação de todos os produtos produzidos.

Figura 9: Cronograma estimado.



Fonte: os autores.

CONCLUSÃO

Os critérios de precificação desenvolvidos passaram a adotar o esforço de modelagem sendo fundamental considerar os modelos BIM como entregáveis de projeto.

Com a metodologia adotada a elaboração de orçamento se mostrou mais rápida, objetiva e transparente, permitindo que o custo do projeto reflita o esforço efetivo necessário, o qual pode variar de acordo com a complexidade do projeto. Com essa abordagem, a partir dos dados gerados também foi possível produzir um cronograma estimado de prazo para o desenvolvimento dos projetos.

É fundamental destacar que o sucesso dessa metodologia permitiu a replicação do processo na elaboração de outros orçamentos e cronogramas para a contratação de desenvolvimento de projetos, sendo documentado e disseminado internamente na empresa. O método desenvolvido para este caso específico pode ser adaptado e adotado na precificação de outros tipos de projetos.

REFERÊNCIAS

[1] Brasil, DECRETO No 11.888, DE 22 DE JANEIRO DE 2024. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil - Estratégia BIM BR e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling - BIM BR. Brasília: Diário Oficial da União, 2024.

[2] Brasil, DECRETO No 10.306, DE 2 DE ABRIL DE 2020. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling. Brasília: Diário Oficial da União, 2020.

[3] Brasil, LEI No 14.133, DE 1o DE ABRIL DE 2021. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. 2021. Acesso em: 03 de outubro de 2024. Brasília: Diário Oficial da União, 2021.

[4] AsBEA, Guia AsBEA Boas Práticas em BIM, vols. 1 e 2. São Paulo, 2013. Acesso em: 03 de outubro de 2024. [Online]. Disponível em: https://www.asbea.org.br/downloads/

[5] CBIC, Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras, vols. 1 a 5. Brasília, 2016. Acesso em: 03 de outubro de 2024. [Online]. Disponível em: https://cbic.org.br/faca-o-download-da-coletanea-bim-no-site-da-cbic/

[6] SEHAB, Caderno de Projetos em BIM, 2.ª ed. São Paulo, 2022, Processo SEI 6014.2024/0001439-6. Acesso em: 03 de outubro de 2024. [Online]. Disponível em: https://processos.prefeitura.sp.gov.br/forms/consultarprocessos.aspx#!

[7] SEIL, Caderno 11 - Especificações Técnicas para Contratação de Projetos em BIM – Edificações. Curitiba, 2023. Acesso em: 03 de outubro de 2024. [Online]. Disponível em: https://www.bim.pr.gov.br/Pagina/Cadernos-BIM

[8] BIM Fórum Brasil, Guias de Contratação BIM, vols. 1 a 3. São Paulo, 2023 Acesso em: 03 de outubro de 2024. [Online]. Disponível em: https://mkt.bimforum.org.br/coletanea-guias-de-contratacao-bim

Área temática: Educação

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

A interação entre formação, comportamento e personalidade nos principais papéis do ambiente BIM

The interaction between education, behavior, and personality in key roles within the BIM environment

Márcia Döring | Universidad Europea del Atlántico | marcia@marciadoringconsultoria.com | 0009-0007-5039-2662

DOI: 10.5281/zenodo.14471853

Resumo

Este artigo tem como objetivo analisar a relação entre a formação acadêmica, as competências técnicas e comportamentais e os perfis de personalidade dos profissionais envolvidos nos principais papéis no ambiente BIM (*Building Information Modeling*). O BIM sendo uma metodologia colaborativa exige que os profissionais de diversas áreas desempenhem papéis complementares, como *BIM Manager*s, coordenadores e modeladores entre outros. Cada um desses papéis requer não apenas habilidades técnicas específicas, mas também comportamentos e traços de personalidade que favoreçam o trabalho em equipe, a liderança e a comunicação eficaz, fatores essenciais para o sucesso em projetos que utilizam BIM. Para alcançar os objetivos do estudo foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as competências técnicas e comportamentais necessárias para cada papel no ambiente BIM. A revisão inclui também a aplicação de modelos de análise de personalidade no contexto de equipes de BIM buscando compreender como os diferentes perfis comportamentais influenciam o desempenho dessas equipes. Os resultados obtidos indicam que além de uma sólida formação técnica, as competências comportamentais como resolução de conflitos, liderança, flexibilidade e comunicação, desempenham um papel fundamental na eficiência das equipes que trabalham com desenvolvimento de modelos de informação. Identificou-se que *BIM Manager*s por exemplo, se beneficiam de perfis comportamentais que favorecem a liderança e a tomada de decisão, enquanto os modeladores BIM necessitam de uma combinação de habilidades técnicas e capacidade de concentração e precisão. Por lado as habilidades interpessoais como liderança, resolução de conflitos e flexibilidade, serão abordadas como fundamentais para a implementação bem-sucedida do BIM, especialmente em equipes multidisciplinares e em projetos complexos. A contribuição deste estudo reside na elaboração de um mapeamento detalhado que relaciona os principais papéis do ambiente BIM com suas respectivas formações, habilidades técnicas e comportamentais, bem como os perfis de personalidade mais adequados para cada função. Esse mapeamento pode ser utilizado por empresas e gerentes de projetos para otimizar a alocação de profissionais em equipes de BIM, garantindo uma maior sinergia entre os membros e, consequentemente, melhores projetos. Além disso, o estudo sugere a importância de programas de desenvolvimento de habilidades interpessoais e de autoconhecimento para os profissionais que atuam no ambiente BIM, visando aprimorar sua capacidade de lidar com desafios comuns em projetos colaborativos de grande porte. Conclui-se que no contexto do BIM é imprescindível integrar a formação técnica adequada a cada posição com o desenvolvimento de competências comportamentais criando um ambiente mais colaborativo, eficiente e preparado para enfrentar os desafios de um setor cada vez mais exigente e tecnológico.

Palavras-chave: BIM. Competências comportamentais. Perfis de personalidade. Gestão de projetos. Formação acadêmica.

Abstract

This article aims to analyze the relationship between academic background, technical and behavioral competencies, and the personality profiles of professionals involved in key roles within the BIM (Building Information Modeling) environment. BIM, being a collaborative methodology, requires professionals from various fields to perform complementary roles, such as BIM Managers, Coordinators, and Modelers, among others. Each of these roles demands not only specific technical skills but also behaviors and personality traits that promote teamwork, leadership, and effective communication—essential factors for success in projects using BIM. To achieve the study's objectives, a literature review was conducted on the technical and behavioral competencies required for each role within the BIM environment. The review also includes the application of personality analysis models in the context of BIM teams to understand how different behavioral profiles influence team performance. The results indicate that, beyond solid technical training, behavioral competencies such as conflict resolution, leadership, flexibility, and communication play a fundamental role in the efficiency of teams working on information model development. It was identified, for example, that BIM Managers benefit from behavioral profiles that favor leadership and decision-making, while BIM Modelers require a combination of technical skills and the ability to concentrate and maintain accuracy. On the other hand, interpersonal skills such as leadership, conflict resolution, and flexibility are highlighted as fundamental for the successful implementation of BIM, especially in multidisciplinary teams and complex projects. The contribution of this study lies in the development of a detailed mapping that links key roles within the BIM environment to their respective educational backgrounds, technical and behavioral skills, as well as the most suitable personality profiles for each function. This mapping can be used by companies and project managers to optimize the allocation of professionals in BIM teams, ensuring greater synergy among members and, consequently, better project outcomes. Furthermore, the study suggests the importance of interpersonal skills development programs and self-awareness initiatives for professionals working in the BIM environment, aiming to enhance their ability to handle common challenges in large-scale collaborative projects. It concludes that, in the BIM context, it is essential to integrate appropriate technical training for each position with the development of behavioral competencies, creating a more collaborative, efficient, and well-prepared environment to face the challenges of an increasingly demanding and technological sector.

Keywords: BIM. Behavioral competencies. Personality profiles. Project management. Academic background.

INTRODUÇÃO

O sucesso na implementação do *Building Information Modeling* (BIM) depende das habilidades e competências da equipe envolvida. Com a adoção do BIM se tornando cada vez mais comum e estratégica é importante perceber que sua efetividade não está depende apenas do uso de tecnologias avançadas, mas também na capacidade dos profissionais em lidar com processos complexos e interdisciplinares. Para atingir o sucesso nos projetos é fundamental que os membros da equipe tenham um conjunto de habilidades técnicas, de comunicação e colaboração, além de competências pessoais, que garantam a fluidez e eficiência do trabalho em equipe. Além disso, contar com profissionais com boa formação para os principais papéis dentro de uma equipe BIM assegura que cada função seja desempenhada com o conhecimento especializado necessário.

Segundo [1] quando é perguntado nas organizações qual é a questão mais desafiadora na adoção do BIM elas frequentemente respondem a esta questão dizendo que são aquelas relacionadas com pessoal, já que nove em cada dez dos fatores críticos de sucesso se relacionam a pessoas e a questões procedimentais, mais do que questões técnicas.

As habilidades técnicas permitem que os profissionais utilizem ferramentas BIM de forma avançada, desenvolvendo modelos precisos e análises que apoiem a tomada de decisões ao longo do projeto. Para desempenhar esses papéis de forma adequada é recomendável que os profissionais tenham

formações e especializações relacionadas ao BIM para aprimorar suas capacidades técnicas. Essa base sólida é essencial para atuar nos principais papéis, permitindo a criação de modelos de alta qualidade.

No entanto, apenas dominar a parte técnica não é suficiente para garantir o sucesso. A complexidade dos projetos e a integração de diversas disciplinas exigem uma comunicação clara e eficaz. Por isso, é importante desenvolver habilidades de comunicação e colaboração que facilitem a troca de informações de forma clara e organizada, permitindo a coordenação entre diferentes áreas e partes interessadas, o que ajuda a reduzir riscos e retrabalhos. Nesse contexto, cargos de liderança como *BIM Manager* e Coordenador BIM precisam de formações complementares em gestão de projetos ou cursos de gestão de equipes multidisciplinares para que possam liderar com eficiência, segundo [2] "é importante compreender que além de dominar metodologias e processos um bom gestor ou líder de projetos deve entender de pessoas. Todos os projetos têm seus desafios, porém o maior deles são as pessoas envolvidas.

As competências pessoais e comportamentais também têm um papel essencial no ambiente colaborativo. Características como pensamento crítico, flexibilidade, proatividade e atenção aos detalhes são essenciais para garantir a precisão dos modelos e para responder rapidamente a mudanças e desafios que surgem durante o desenvolvimento dos projetos. Quando essas competências comportamentais são combinadas com habilidades técnicas, criam uma sinergia que permite às equipes BIM maximizar o valor dos projetos e alcançar resultados alinhados com os objetivos estratégicos da organização.

Este artigo destaca a importância de entender qual é esse conjunto de habilidades e a formação necessária dentro de uma equipe BIM. Ao integrar esses aspectos é possível elevar a maturidade da equipe, promover maior eficiência na execução dos projetos e contribuir para resultados mais precisos e eficazes.

METODOLOGIA

Este estudo utilizou uma metodologia dividida em duas etapas. Primeiramente, realizamos uma revisão bibliográfica. Em seguida, aplicamos modelos de análise de personalidade com foco no perfil DISC. Cada uma dessas etapas foi estruturada para fornecer uma visão ampla sobre as competências técnicas, comportamentais e os perfis de personalidade mais adequados aos principais papéis no ambiente BIM (*Building Information Modeling*). Dessa forma, buscamos identificar as habilidades essenciais para o sucesso nessas funções.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A primeira etapa envolveu uma revisão da literatura sobre competências técnicas, comportamentais e formação acadêmica para profissionais atuando em equipes BIM. Para isso, utilizamos bases de dados acadêmicas e técnicas. Os critérios de inclusão para a revisão abrangeram artigos, livros e guias de boas práticas com foco específico em:

- Competências técnicas requeridas para papéis específicos no ambiente BIM, como *BIM Manager*, Coordenador BIM, Especialista de Disciplina e Modelador BIM.
- Formações acadêmicas recomendadas para cada função.
- Competências comportamentais que favorecem o desempenho em equipes multidisciplinares e projetos colaborativos.
- Modelos de análise de personalidade aplicados ao ambiente BIM, com destaque para o modelo DISC.

Realizamos buscas com palavras-chave como "competências BIM", "habilidades técnicas BIM", "perfil comportamental em equipes BIM", "*BIM Manager*", "DISC e BIM", entre outras. Os estudos e documentos selecionados foram analisados para identificar e categorizar as competências técnicas e comportamentais relevantes, bem como as formações acadêmicas recomendadas.

APLICAÇÃO DE MODELOS DE ANÁLISE DE PERSONALIDADE (DISC)

A segunda etapa metodológica consistiu na aplicação de uma dinâmica de análise de personalidade, utilizando um formulário online baseado no modelo DISC. Assim, buscamos correlacionar os perfis comportamentais mais adequados a cada um dos principais papéis no ambiente BIM.

O modelo DISC foi escolhido devido à sua ampla utilização no ambiente corporativo e por sua capacidade de fornecer uma análise dos comportamentos predominantes dos indivíduos.

PROCEDIMENTOS ADOTADOS

Foram selecionados para análise os quatro papéis principais no ambiente BIM para a aplicação do modelo DISC. Por meio de um levantamento de dados, aplicamos questionários aos profissionais, coletando informações que incluíam uma autoavaliação de personalidade baseada no modelo DISC e perguntas relacionadas ao desempenho e às responsabilidades de cada papel.

Com base nas respostas, identificamos os perfis comportamentais predominantes para cada função. Essa análise permitiu relacionar traços de personalidade com as competências comportamentais identificadas na revisão bibliográfica.

JUSTIFICATIVA DO MODELO DISC

O modelo DISC foi escolhido porque fornece uma estrutura clara e prática para a análise de perfis comportamentais, sendo amplamente utilizado na avaliação de equipes de trabalho e no desenvolvimento de liderança. Ele possibilita compreender como diferentes características comportamentais podem impactar a capacidade de liderança, comunicação, trabalho em equipe e tomada de decisões dos profissionais.

SÍNTESE DA METODOLOGIA

A combinação de uma revisão bibliográfica sistemática e a aplicação de um modelo comportamental validado forneceram uma base sólida para o mapeamento de competências técnicas, formação acadêmica e perfis comportamentais no ambiente BIM. Essa metodologia permitiu identificar não apenas as qualificações técnicas necessárias para cada papel, mas também os traços comportamentais que potencializam a eficácia das equipes, contribuindo para o sucesso na implementação do BIM em projetos complexos e colaborativos.

MAPEAMENTO DE COMPETÊNCIAS E PERFIS DE PERSONALIDADE POR PAPEL NA EQUIPE BIM

BIM MANAGER

Responsável pelo planejamento estratégico e pela implementação do BIM dentro de uma organização. Ele gerencia os recursos de tecnologia, capacitação e documentação dos processos BIM.

- COMPETÊNCIAS TÉCNICAS:
    - Desenvolvimento de um plano de execução BIM (BEP).
    - Criação e gerenciamento de padrões e guias BIM para a organização ou projeto.
    - Capacitação da equipe em novas tecnologias e processos.
    - Definição de métricas de sucesso para medir a eficácia do processo BIM.
- FORMAÇÕES SUGERIDAS:
    - Engenharia Civil ou Arquitetura (com especialização em BIM).
    - Gestão de Projetos (preferencialmente com ênfase em BIM).
    - MBA ou Pós-graduação em Gestão de Projetos BIM.

COORDENADOR BIM

Responsável pela supervisão geral do processo BIM em um projeto. Este papel inclui a coordenação entre várias disciplinas para que todos os membros da equipe sigam os padrões e processos estabelecidos.

- COMPETÊNCIAS TÉCNICAS:
    - Coordenação entre disciplinas para garantir que todos os modelos sejam integrados de forma adequada, sem conflitos.
    - Conhecimento de ferramentas de coordenação e de padrões abertos como o IFC.
    - Gerenciamento da qualidade dos dados e do modelo.
    - Habilidades de comunicação para facilitar reuniões de coordenação e garantir o alinhamento das partes interessadas.
- FORMAÇÕES SUGERIDAS:
    - Arquitetura, Engenharia Civil, Elétrica ou Mecânica.
    - Pós-graduação em BIM.

ESPECIALISTA DE DISCIPLINA BIM

Atua em disciplinas específicas, como arquitetura, estruturas ou MEP (mecânica, elétrica e hidráulica). São responsáveis por garantir a precisão e a integridade dos modelos em sua área.

- COMPETÊNCIAS TÉCNICAS:
    - Proficiência técnica em softwares BIM relevantes para a disciplina específica.
    - Interpretação de desenhos técnicos e normas específicas da disciplina.
    - Validação do modelo e análise de conformidade com requisitos normativos e funcionais.
    - Capacidade de colaboração interdisciplinar para resolver conflitos no modelo.
- FORMAÇÕES SUGERIDAS:
    - Engenharia Civil, Elétrica ou Mecânica.
    - Arquitetura.

MODELADOR BIM

Responsável pela criação e manutenção dos modelos 3D de acordo com as diretrizes fornecidas pelos especialistas de disciplina e pelo coordenador BIM.

- COMPETÊNCIAS TÉCNICAS:
    - Proficiência em softwares de modelagem.
    - Capacidade de criar e editar famílias e componentes paramétricos.
    - Interpretação de desenhos técnicos e especificações para criar modelos precisos.
    - Atenção aos detalhes e rigor na modelagem, pois erros nos modelos podem impactar o projeto como um todo.
- FORMAÇÕES SUGERIDAS:
    - Técnico em Edificações.
    - Design de Interiores (para modelagem de interiores e projetos arquitetônicos).

- Engenharias (com foco em modelagem).
- Arquitetura (com foco em modelagem arquitetônica).

OBSERVAÇÃO GERAL

Além disso, para todos os papéis, é de suma importância as habilidades de comunicação e colaboração, pois o sucesso de um projeto desenvolvido em BIM depende da capacidade da equipe de trabalhar de forma coordenada e eficaz. *BIM Manager*s e Coordenadores precisam de conhecimento em gestão de projetos para entender como o BIM impacta os custos, cronogramas e processos de construção.

A FERRAMENTA DISC

O DISC é uma ferramenta de avaliação comportamental que busca identificar e classificar os padrões de comportamento de uma pessoa. Sua sigla representa quatro dimensões do comportamento humano:

- Dominância: Relacionada à assertividade, iniciativa e ambição. Pessoas com alta Dominância tendem a ser diretas, decididas e focadas em resultados.
- Influência: Ligada à persuasão, sociabilidade e entusiasmo. Indivíduos com alta Influência geralmente são extrovertidos, otimistas e apreciam trabalhar em equipe.
- Estabilidade: Associada à paciência, lealdade e cooperação. Pessoas com alta Estabilidade costumam ser calmas, pacientes e valorizam a harmonia.
- Conformidade: Relacionada à precisão, organização e análise. Indivíduos com alta Conformidade são detalhistas, cuidadosos e valorizam a qualidade.

A ferramenta é aplicada por meio de um questionário, no qual o indivíduo avalia suas reações a diferentes situações, permitindo identificar seu perfil comportamental predominante. É importante ressaltar, porém, que ninguém se encaixa unicamente em um perfil, mas sim em uma combinação dessas quatro dimensões.

AS COMBINAÇÕES DAS QUATRO DIMENSÕES NOS PRINCIPAIS PAPÉIS BIM

- *BIM Manager*: Sendo uma posição de liderança requer habilidades em gestão de equipes, coordenação entre disciplinas e visão estratégica. Pessoas com alta Dominância (D) e alta Conformidade (C) são mais indicadas para este papel, pois precisam tomar decisões, ser organizadas e ter uma visão holística do projeto.
- Coordenador BIM: Requer boa comunicação, interação constante entre disciplinas e capacidade de resolver conflitos técnicos. Alta Influência (I) e Estabilidade (S) são favoráveis, pois garantem um perfil sociável, equilibrado e diplomático, com capacidade de lidar com diferentes stakeholders.
- Especialista de Disciplina BIM: Este papel foca em conhecimentos técnicos aprofundados em uma área específica. Pessoas com alta Conformidade (C) e uma mistura de estabilidade (S) são indicadas, pois precisam ser detalhistas e metódicas, garantindo a precisão das entregas.
- Modelador BIM: Requer habilidades técnicas, foco em detalhes e capacidade de seguir normas e padrões. Perfis com alta Conformidade (C) são mais adequados para essa função.

Devemos considerar que não existe um perfil perfeito, já que cada indivíduo possui uma combinação única de características, e o sucesso depende de diversos fatores, como experiência, treinamento e desenvolvimento pessoal. Outro fator importante diz respeito a flexibilidade e capacidade de se adaptar a diferentes situações e desafios. Uma equipe BIM bem-sucedida é composta por profissionais com perfis complementares, que se apoiam mutuamente para alcançar os objetivos.

A análise DISC pode ser uma ferramenta útil dentro do universo BIM. No entanto, é importante lembrar que a experiência, treinamento e capacidade de adaptação também são fatores importantes para o sucesso.

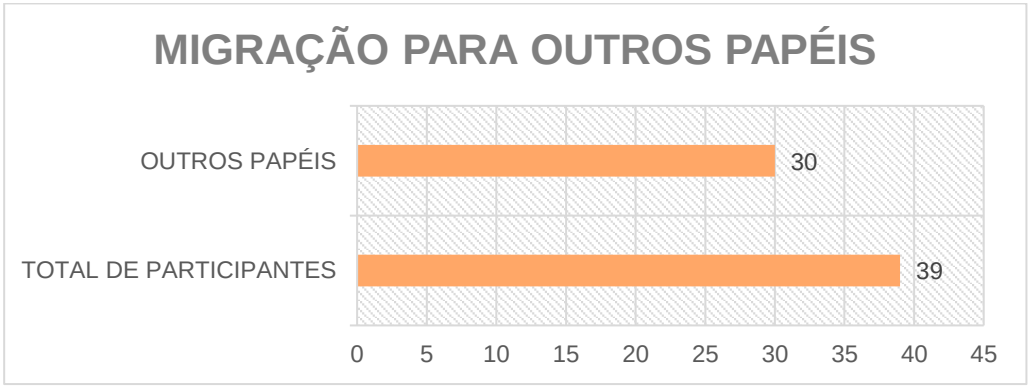
RESULTADOS OBTIDOS NA PESQUISA

O questionário proposto continha perguntas relativas à ferramenta DISC, além de algumas relacionadas à formação acadêmica e aos papéis desempenhados ou que os profissionais pretendiam desempenhar no futuro. Trinta e nove profissionais participaram de forma online e anônima.

Para identificar os papéis mais indicados com base nos perfis DISC, relacionamos os resultados obtidos no questionário às características que podem ser associadas aos principais papéis BIM.

Seguem os resultados dos questionários e as conclusões de cada análise:

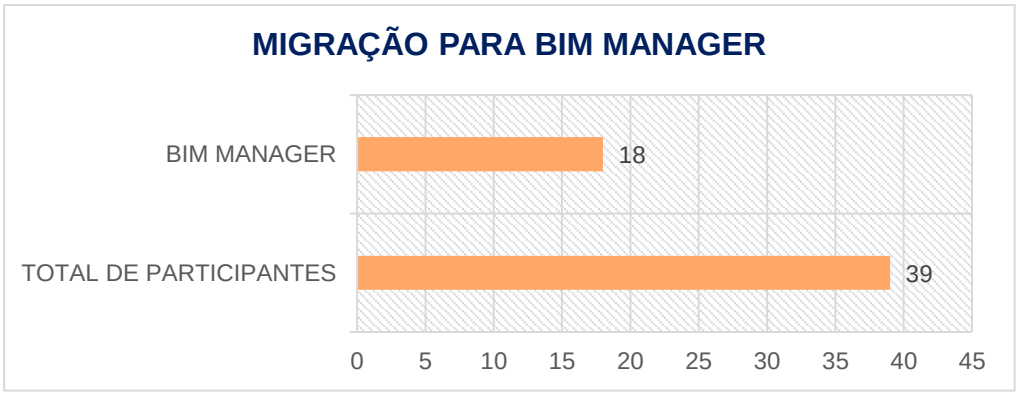
Quadro 1 - Migração para outros papéis



Fonte: A autora

Trinta participantes indicaram o desejo de mudar de cargo para papéis diferentes, correspondendo a 77% dos profissionais. Esse desejo reflete a percepção dos colaboradores sobre suas carreiras e pode estar relacionado à busca por novos desafios, crescimento profissional ou melhor compatibilidade com suas aptidões. Consequentemente, esses profissionais podem buscar programas de desenvolvimento de carreira e requalificação.

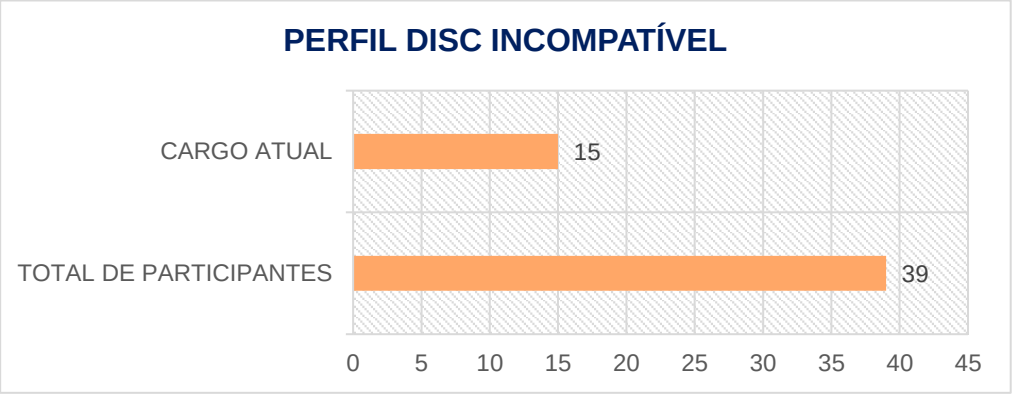
Quadro 2 - Migração para *BIM Manager*



Fonte: A autora

Dezoito profissionais expressaram o desejo de migrar para o cargo de *BIM Manager*, representando 46% dos participantes. No entanto, é importante avaliar se as competências e os perfis desses profissionais são adequados para esse papel de liderança. Caso não sejam, isso pode indicar a necessidade de desenvolvimento de habilidades em gestão, liderança e processos BIM. Portanto, identificar a lacuna entre o desejo e as competências reais é essencial. Dessa forma, essa análise sugere a necessidade de orientação de carreira e desenvolvimento de competências para aqueles que almejam essa posição.

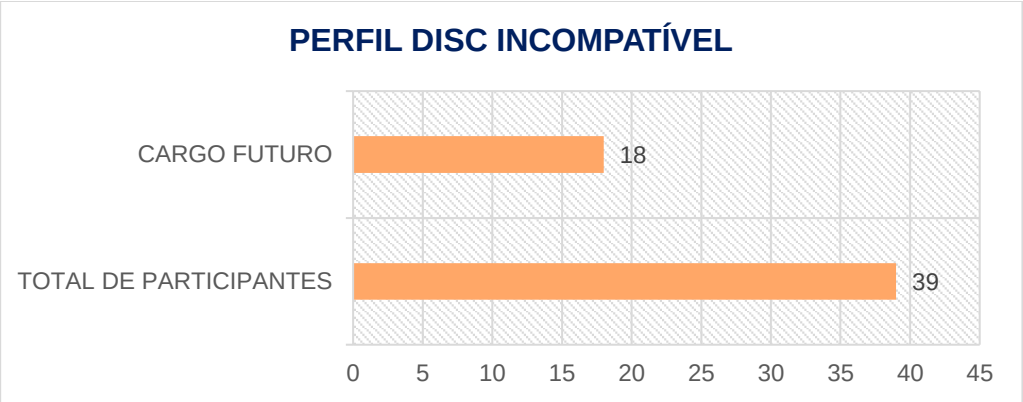
Quadro 3 - Perfil DISC incompatível com cargo atual



Fonte: A autora

A existência de quinze profissionais com perfis DISC incompatíveis com seus cargos atuais pode indicar que há uma desconexão entre as funções exercidas e as aptidões dos profissionais. Isso pode estar impactando a motivação, satisfação e produtividade. Portanto, identificar esses casos e trabalhar em ações de realocação ou desenvolvimento de competências é essencial para melhorar o alinhamento entre perfis e funções.

Quadro 4 - Perfil DISC incompatível com cargo futuro



Fonte: A autora

Dezoito profissionais possuem incompatibilidades entre seus perfis DISC e o cargo desejado, o que representa 46% dos participantes. Esse dado é importante, pois indica que o desejo de migrar para novos papéis não está totalmente alinhado às competências comportamentais necessárias. Portanto, esse grupo de profissionais pode se beneficiar de programas de mentoria para ajudá-los a desenvolver as competências necessárias ou reavaliar suas escolhas de carreira com base em suas características comportamentais.

CONCLUSÃO

Este estudo explorou a interação entre formação técnica, competências comportamentais e perfis de personalidade nos principais papéis do ambiente BIM. Destacamos a importância de alinhar esses aspectos para maximizar a eficácia das equipes. Com base na revisão bibliográfica e na aplicação do modelo DISC, foi possível mapear as competências técnicas e comportamentais necessárias para cada função. Além disso, correlacionamos essas competências com os perfis de personalidade predominantes.

Os principais resultados mostraram que 77% dos profissionais expressaram o desejo de migrar para novos papéis, evidenciando um grande interesse em buscar novas oportunidades e desafios na carreira. Entretanto, identificou-se que 46% dos participantes desejam o cargo de *BIM Manager*, um papel que requer habilidades de liderança e gestão estratégica. Isso demandaria uma especialização em gerenciamento de projetos, ainda pouco presente na formação declarada da pesquisa.

A análise revelou que quinze profissionais possuem perfis DISC incompatíveis com suas funções atuais, o que pode indicar uma desconexão entre as aptidões e as responsabilidades desempenhadas. Além disso, identificou-se que dezoito profissionais apresentaram incompatibilidades entre seus perfis DISC e os papéis desejados, sugerindo a necessidade de uma orientação mais direcionada e do desenvolvimento de competências.

O alinhamento entre a formação técnica, competências comportamentais e perfis de personalidade é fundamental para criar um ambiente BIM colaborativo e eficiente. Profissionais que combinam conhecimento técnico, habilidades de comunicação e características comportamentais adequadas têm mais chances de contribuir para o sucesso dos projetos. O modelo DISC tem sido usado como uma ferramenta eficaz para identificar traços comportamentais compatíveis com as exigências de cada papel. Isso permite um melhor direcionamento de carreiras e um desenvolvimento mais estruturado de equipes.

Recomenda-se que futuras pesquisas explorem mais detalhadamente o impacto de diferentes perfis comportamentais no desempenho de equipes BIM em projetos de diversas escalas e setores. Além disso, estudos adicionais podem investigar como programas de treinamento e mentoria podem contribuir para o desenvolvimento de competências específicas para papéis de liderança e coordenação em BIM.

REFERÊNCIAS

[1] R. Sacks, C. Eastman, G. Lee e P. Teicholz, Manual de BIM, Porto Alegre: Bookman, 2021.

[2] J. E. Reiter, “Entendendo os perfis DISC: Resolvendo conflitos utilizando DISC”.

[3] W. S. Bilal Succar, “A Competency Knowledge-Base for BIM”.

[4] N. L. A. R. D. O. Mohamad Kassema, “Identifying and Analyzing BIM Specialist Roles using a Competency-based Approach”.

[5] V. S. S. S. Manish Yakami, “What Do Students and Professionals Think”.

[6] I. Motawa e A. Almarshad, A knowledge-based BIM system for building maintenance. Automation in Construction, 2013.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Acessibilidade profissional com software livre

Professional accessibility with open-source software

Pedro Henrique Reis de Lima | HR Compacta | Florianópolis, SC, Brasil | phenriquerl@gmail.com

DOI: 10.5281/zenodo.14474227

Resumo

Este estudo investiga como a adoção do FreeCAD, através de sua Workbench BIM, pode transformar o ciclo de vida de projetos na construção civil, promovendo a acessibilidade profissional e reduzindo as barreiras financeiras para pequenos escritórios e profissionais autônomos. A pesquisa explora todas as fases do ciclo de vida de um projeto, desde a concepção até a manutenção, destacando o papel crucial do FreeCAD BIM na eliminação dos altos custos de licenciamento de softwares proprietários. A metodologia envolve uma análise comparativa abrangente entre o FreeCAD e soluções proprietárias consolidadas, como Revit e Archicad, focando em aspectos-chave como custos, interoperabilidade com padrões abertos como o IFC, curva de aprendizado, flexibilidade de personalização e potencial de escalabilidade em projetos complexos. Os principais resultados demonstram que o FreeCAD, com a implementação do Native IFC, oferece uma solução robusta e econômica, capaz de suportar a colaboração multidisciplinar e de apresentar desempenho competitivo em projetos de construção complexos. O uso de padrões abertos pelo FreeCAD permite uma troca de dados fluida, melhorando a eficiência do projeto e reduzindo erros causados por incompatibilidade de formatos de arquivo. Além disso, a natureza personalizável do FreeCAD torna-o adequado para uma ampla gama de usuários, desde profissionais iniciantes até engenheiros experientes. O impacto mais amplo deste estudo reside na democratização do acesso a ferramentas digitais avançadas, permitindo que pequenos escritórios e profissionais autônomos compitam em pé de igualdade com grandes corporações. Essa acessibilidade não apenas fomenta a inovação e a inclusão no setor da construção, mas também incentiva a adoção de práticas sustentáveis e colaborativas em projetos. O estudo conclui enfatizando o papel do software livre, como o FreeCAD, na promoção da inclusão tecnológica e na construção de uma indústria da construção mais equitativa e competitiva.

Palavras-chave: Acessibilidade profissional, Software livre, FreeCAD, IFC, Ciclo de vida.

Abstract

This study investigates how the adoption of FreeCAD, through its BIM Workbench, can transform the lifecycle of construction projects by promoting professional accessibility and reducing financial barriers for small firms and independent professionals. The research explores every phase of a project lifecycle, from conception to maintenance, highlighting the crucial role of FreeCAD BIM in eliminating the high licensing costs associated with proprietary software. The methodology involves a comprehensive comparative analysis between FreeCAD and established proprietary solutions such as Revit and Archicad, focusing on key aspects including cost, interoperability with open standards like IFC, learning curve, customization flexibility, and the potential for scalability in complex projects. Key findings demonstrate that FreeCAD, with the implementation of Native IFC, provides a robust, cost-effective solution that supports multidisciplinary collaboration and delivers competitive performance in complex construction projects. FreeCAD's reliance on open standards allows seamless data exchange, improving project efficiency and reducing errors due to file format incompatibility. Additionally, the

research highlights FreeCAD's customizable nature, making it suitable for a wide range of users, from novice professionals to experienced engineers. The broader impact of this study lies in the democratization of access to advanced digital tools, enabling small firms and independent professionals to compete on a level playing field with larger corporations. This accessibility not only fosters innovation and inclusion in the construction sector but also encourages the adoption of sustainable and collaborative project practices. The study concludes by emphasizing the role of open-source software like FreeCAD in promoting technological inclusion and contributing to a more equitable and competitive construction industry.

Keywords: Professional accessibility, Open-source software, FreeCAD, IFC, Lifecycle.

INTRODUÇÃO

A acessibilidade a tecnologias no setor da construção civil tem se mostrado um fator determinante para a competitividade e inovação no mercado. No entanto, profissionais recém-formados e pequenas empresas enfrentam barreiras significativas ao tentarem acessar softwares de ponta devido aos altos custos de licenciamento. Essa limitação impacta diretamente sua capacidade de adotar as melhores práticas e competir em igualdade de condições com grandes corporações, criando um cenário de exclusão tecnológica e profissional.

O FreeCAD com o Workbench BIM oferece uma solução acessível para o ciclo de vida de um projeto, eliminando os custos de licenças de softwares proprietários. Desde a concepção e o planejamento até a execução e manutenção das edificações, o FreeCAD oferece ferramentas robustas que possibilitam a criação de projetos completos e a colaboração entre equipes multidisciplinares, eliminando os altos custos associados às licenças de software proprietário.

Este artigo explora como o FreeCAD pode transformar a realidade de pequenos escritórios e profissionais autônomos. Desde o momento em que a ideia do projeto é concebida até sua execução e posterior manutenção, a escolha de um software adequado pode impactar significativamente o sucesso e a eficiência de cada fase. A seguir, exploraremos o ciclo de vida de um projeto e como o FreeCAD BIM pode desempenhar um papel essencial em cada uma dessas etapas.

CICLO DE VIDA DE UM PROJETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O ciclo de vida de um projeto inclui fases que, quando bem gerenciadas, garantem o sucesso do empreendimento, desde a concepção até a manutenção. Cada uma dessas etapas exige um planejamento cuidadoso e o uso de ferramentas adequadas para a sua execução. O ciclo de vida típico de um projeto engloba as fases de concepção, planejamento, execução, operação e manutenção. Entender como cada uma dessas fases se interconecta é fundamental para otimizar processos e evitar erros que possam comprometer o resultado.

A fase de concepção é o ponto de partida de qualquer projeto, onde as ideias iniciais são formuladas e as diretrizes gerais são estabelecidas. É aqui que arquitetos, engenheiros e outros profissionais envolvidos começam a delinear o escopo, os objetivos e as soluções técnicas que o projeto exigirá. Ferramentas como o FreeCAD BIM são essenciais nessa fase, pois permitem a criação de modelos tridimensionais, a visualização espacial do projeto e a análise de diferentes cenários, oferecendo maior clareza e precisão antes de avançar para as etapas seguintes.

Na fase de planejamento, as equipes organizam os cronogramas, definem os recursos e alinham responsabilidades. O uso de padrões abertos como o IFC facilita a colaboração entre diferentes plataformas. O FreeCAD, com seu suporte ao IFC, permite a integração de dados entre disciplinas, promovendo uma melhor coordenação e mitigando potenciais conflitos, sobretudo quando combinados com outros Workbenchs.

A fase de execução é onde o projeto toma forma no mundo real. Nesta etapa, a precisão dos modelos desenvolvidos anteriormente se reflete na construção física. O FreeCAD permite que os modelos sejam atualizados em tempo real durante a execução da obra.

O FreeCAD permite que as informações geradas durante o ciclo de vida do projeto sejam acessadas e atualizadas, promovendo um gerenciamento mais eficiente ao longo dos anos. A rastreabilidade de componentes e sistemas se torna uma vantagem, pois possibilita intervenções mais rápidas e precisas quando necessário.

O uso de ferramentas como o FreeCAD BIM não apenas otimiza a execução dessas etapas, mas também promove uma gestão mais sustentável e econômica, permitindo que profissionais e empresas, independentemente de seu porte, possam entregar projetos de alta qualidade e aderentes às melhores práticas do setor.

No entanto, muitos profissionais enfrentam desafios significativos na escolha e implementação de softwares que atendam às exigências técnicas e de mercado, especialmente quando se trata de ferramentas proprietárias com altos custos de licenciamento. Para pequenos escritórios e profissionais autônomos, essas barreiras podem limitar o acesso às melhores soluções tecnológicas, impactando diretamente sua competitividade. No próximo capítulo, discutiremos os principais desafios relacionados ao acesso a software na construção civil e como isso afeta diferentes perfis de profissionais no setor.

DESAFIOS DO ACESSO A SOFTWARE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A aquisição de softwares especializados representa um desafio significativo para muitos profissionais e empresas, especialmente os recém-formados, autônomos e pequenos escritórios. Os custos elevados de licenciamento de programas proprietários são uma barreira que impede o acesso às ferramentas mais sofisticadas do mercado. Esse cenário resulta em uma desigualdade tecnológica na qual apenas empresas de grande porte têm a capacidade de investir em soluções de ponta, deixando uma parte considerável do mercado em desvantagem.

As atualizações e pacotes de suporte também contribuem para o alto custo dos softwares proprietários. Muitos desses programas exigem não apenas a compra inicial, mas também a renovação de licenças anuais ou a contratação de pacotes de manutenção para garantir que o software continue a funcionar com a máxima eficiência. Para pequenos escritórios ou profissionais autônomos, essas despesas recorrentes podem ser impeditivas, resultando na dependência de versões desatualizadas ou alternativas de menor qualidade, o que compromete a capacidade de competir no mercado.

Outro desafio está relacionado à curva de aprendizado associada a muitos dos softwares proprietários, que tendem a ser complexos e demandam um período extenso de treinamento. Para empresas menores, alocar tempo e recursos para a formação em um software pode não ser viável, especialmente em um mercado onde a agilidade e a eficiência são essenciais para manter a competitividade.

Soluções como o FreeCAD BIM surgem como uma resposta a essas dificuldades, oferecendo uma plataforma de código aberto que reduz drasticamente os custos de licenciamento e facilita a adoção de padrões abertos, como o IFC, para garantir uma interoperabilidade eficiente. No próximo capítulo, exploraremos como o FreeCAD se destaca como uma alternativa viável e inclusiva, transformando o panorama da construção civil ao democratizar o acesso a tecnologias de ponta.

O FREECAD COMO ALTERNATIVA VIÁVEL

O FreeCAD, desenvolvido por uma comunidade ativa, oferece uma alternativa acessível e robusta para profissionais da construção civil. Originalmente criado como uma ferramenta de modelagem paramétrica, o FreeCAD evoluiu ao longo dos anos para incluir recursos avançados de BIM (*Building Information Modeling*), permitindo que arquitetos, engenheiros e designers trabalhem em projetos complexos sem os custos proibitivos de softwares proprietários. A flexibilidade de seu código aberto e a dedicação de sua comunidade de desenvolvedores tornam o FreeCAD uma plataforma em constante aprimoramento, adaptando-se às demandas do setor de forma rápida e eficaz.

O FreeCAD oferece uma interface amigável e altamente personalizável para o setor da construção civil. A estrutura modular permite personalizações, com integração de *plug-in*s e novos recursos.

A implementação do IFC no FreeCAD não só permite que os projetos sejam exportados em um formato amplamente aceito e promove a integração eficiente com outras plataformas.

O FreeCAD está se preparando para uma inovação importante: a implementação do Native IFC, um novo motor que possibilitará a criação de arquivos IFC puros, sem a necessidade de conversões intermediárias. Esse novo recurso visa resolver um dos maiores desafios enfrentados por profissionais que trabalham com BIM – os erros de conversão entre diferentes formatos de software. Com o Native IFC, o FreeCAD permitirá a geração de arquivos diretamente no formato IFC, garantindo maior precisão nos dados e eliminando o risco de perda de informações críticas.

Além desses avanços, o FreeCAD se destaca por sua curva de aprendizado relativamente suave em comparação a outras soluções BIM. Graças à documentação extensa e ao apoio de uma comunidade ativa, profissionais de diferentes níveis de experiência podem aprender rapidamente a utilizar o software e a aplicar seus recursos em projetos reais. A personalização da interface e dos fluxos de trabalho também permite que o FreeCAD seja adaptado às necessidades específicas de cada profissional, seja ele um arquiteto, engenheiro ou projetista. Isso o torna uma solução acessível não apenas do ponto de vista econômico, mas também em termos de usabilidade, ampliando o alcance do BIM para uma diversidade de perfis profissionais.

COMPARAÇÃO: SOFTWARE PROPRIETÁRIO VS. FREECAD

O FreeCAD se posiciona como uma alternativa acessível aos softwares proprietários amplamente utilizados, como Revit e Archicad. Cada uma dessas ferramentas tem seu conjunto específico de recursos e pontos fortes, sendo referências no mercado. No entanto, seus altos custos de licenciamento representam um obstáculo significativo para profissionais e pequenas empresas que buscam aderir às melhores práticas tecnológicas. O FreeCAD democratiza o acesso à tecnologia sem os custos das soluções proprietárias.

Revit e Archicad lideram o mercado BIM, mas o FreeCAD oferece uma interoperabilidade sem custos. Ambos contam com grandes bibliotecas de componentes e extensiva compatibilidade com padrões como o IFC. O FreeCAD oferece interoperabilidade nativa com IFC, sem custos. Embora o Revit e o Archicad possuam uma base de usuários consolidada, o FreeCAD proporciona uma curva de aprendizado mais suave e flexibilidade para adaptar o software às necessidades individuais, algo que os sistemas fechados desses softwares proprietários não oferecem.

Quando comparamos o FreeCAD com softwares como o Rhino e o SolidWorks, que são voltados mais para modelagem geométrica e CAD 3D, a principal diferença está na flexibilidade financeira e na abertura do código. Rhino e SolidWorks são conhecidos pela modelagem paramétrica, mas o FreeCAD oferece uma experiência semelhante, permitindo integração de *plug-in*s da comunidade. Assim, o

FreeCAD acaba se destacando como uma solução versátil, especialmente para aqueles que buscam uma plataforma personalizável sem os custos associados às licenças proprietárias.

Softwares como Navisworks e Solibri são reconhecidos pela detecção de conflitos em grandes projetos. O FreeCAD compensa a falta de funcionalidades avançadas com sua flexibilidade e integração com padrões abertos como o IFC. O motor Native IFC aproxima o FreeCAD dos concorrentes, eliminando barreiras financeiras.

À medida que exploramos as comparações entre o FreeCAD e os principais softwares proprietários, torna-se evidente que a capacidade de integrar diferentes ferramentas e promover a colaboração eficiente entre equipes multidisciplinares é um fator crucial para o sucesso de qualquer projeto. Nesse contexto, o uso de padrões abertos, como o IFC (*Industry Foundation Classes*), desempenha um papel fundamental ao garantir que os dados possam ser compartilhados de forma transparente e precisa entre diferentes plataformas. No próximo capítulo, vamos nos aprofundar no papel dos padrões abertos na construção civil, discutindo como o IFC facilita a integração e a colaboração, e como ele é implementado de maneira eficaz no FreeCAD.

O PAPEL DOS PADRÕES ABERTOS (IFC) NA INTEGRAÇÃO E COLABORAÇÃO

A interoperabilidade proporcionada pelo IFC facilita a colaboração entre diferentes plataformas e equipes, essencial para o sucesso dos projetos. O IFC é um formato de arquivo universal que assegura a transferência precisa de informações entre diferentes sistemas BIM, promovendo a colaboração e evitando o aprisionamento a um único fornecedor de software. Como resultado, os padrões abertos têm se tornado uma peça-chave na democratização das tecnologias BIM, permitindo que profissionais em todo o mundo trabalhem em conjunto sem barreiras tecnológicas.

Com o objetivo de facilitar a interoperabilidade, o FreeCAD permite que os usuários importem e exportem modelos no formato IFC, promovendo a integração com outras ferramentas BIM. Isso coloca o FreeCAD em um patamar elevado em relação à colaboração, permitindo que equipes multidisciplinares utilizem o software sem comprometer a qualidade dos dados.

Outro avanço na utilização de padrões abertos é o IFC Open Shell, um projeto de código aberto que fornece uma biblioteca para leitura e escrita de arquivos IFC, amplamente usado por ferramentas como o FreeCAD para melhorar a manipulação e conversão de dados. O Bonsai BIM também utiliza o IFC Open Shell para integrar o formato IFC no Blender, fortalecendo o ecossistema de softwares livres e tornando os padrões abertos uma norma no setor.

Dentro do FreeCAD, a inovação mais recente no suporte ao IFC é o desenvolvimento do Native IFC, que representa um marco significativo na evolução do software. O Native IFC permite que os usuários gerem arquivos IFC diretamente, sem a necessidade de conversões intermediárias, eliminando erros que normalmente surgem durante o processo de conversão. O Native IFC permite exportação direta com maior precisão de dados. Esse avanço coloca o FreeCAD em um patamar competitivo com softwares proprietários, consolidando-o como uma solução robusta e acessível para projetos complexos. O Native IFC também oferece modos de trabalho "locked" e "unlocked", proporcionando flexibilidade no manuseio dos dados e garantindo que os profissionais possam adaptar o uso do software às suas necessidades específicas.

Ferramentas como o FreeCAD e o Bonsai BIM estão na vanguarda dessa transformação, permitindo que equipes ao redor do mundo trabalhem juntas de maneira eficiente e transparente, sem estarem limitadas a um único fornecedor de software. À medida que mais profissionais adotam esses padrões,

a tendência é que o uso de soluções de código aberto, baseadas em IFC, se torne cada vez mais comum, gerando benefícios tanto para pequenas empresas quanto para grandes corporações.

À medida que exploramos o papel dos padrões abertos, como o IFC, na integração e colaboração no setor da construção civil, fica claro que essas inovações não apenas melhoram a eficiência dos projetos, mas também geram impactos econômicos significativos. O uso de software livre e de padrões abertos como o FreeCAD e o IFC permite uma redução considerável nos custos de licenciamento, proporcionando uma vantagem competitiva para profissionais e empresas de todos os tamanhos. Além disso, esses avanços promovem a inclusão de uma ampla gama de profissionais no mercado, democratizando o acesso às tecnologias de ponta. No próximo capítulo, abordaremos o impacto econômico dessa acessibilidade e como ela contribui para a inclusão profissional no setor da construção civil.

IMPACTO ECONÔMICO E INCLUSÃO PROFISSIONAL

O uso de softwares proprietários no setor da construção civil, como o Revit e o Archicad, é frequentemente associado a altos custos de licenciamento, que podem ser proibitivos para pequenos escritórios e profissionais autônomos. Essas licenças, que geralmente exigem renovação anual ou mensal, somam-se aos custos operacionais e podem representar um obstáculo significativo para aqueles que estão iniciando suas carreiras ou gerenciando negócios de menor porte. Nesse contexto, o FreeCAD surge como uma solução viável e econômica, permitindo que esses profissionais acessem ferramentas de modelagem e BIM sem o peso financeiro das licenças.

O FreeCAD promove inclusão profissional ao democratizar o acesso à tecnologia. Isso nivela o campo de atuação, permitindo que esses profissionais acessem o mercado e concorram em igualdade de condições com empresas maiores, que tradicionalmente têm maior acesso a tecnologias proprietárias. Dessa forma, o software livre atua como um motor de democratização no setor da construção.

Outro aspecto importante do impacto econômico do FreeCAD é sua capacidade de promover a inovação. Com uma comunidade global de desenvolvedores constantemente aprimorando o software, os usuários têm acesso a atualizações frequentes e a novos recursos que, em softwares proprietários, estariam disponíveis apenas mediante pagamento de taxas adicionais ou em versões premium. Essa inovação contínua permitindo que o FreeCAD acompanhe as tendências tecnológicas sem onerar os usuários com custos recorrentes. Além disso, o código aberto incentiva a colaboração entre usuários, que podem criar suas próprias ferramentas e adaptar o software às suas necessidades específicas, impulsionando a eficiência e a criatividade.

Por fim, o impacto econômico do FreeCAD vai além das finanças e atinge diretamente a inclusão social e profissional. Ao possibilitar que uma gama mais diversificada de profissionais tenha acesso a tecnologias de modelagem e BIM, o FreeCAD promove a inclusão de grupos tradicionalmente marginalizados, como pequenos empresários, freelancers, e profissionais de regiões menos favorecidas economicamente. Com a adoção de software livre, essas pessoas podem se capacitar e participar de projetos de grande escala, aumentando suas chances de sucesso e contribuindo para um mercado de trabalho mais equitativo e diversificado.

CONCLUSÃO

A adoção de software livre, como o FreeCAD, no setor da construção civil não se trata apenas de uma escolha econômica, mas também de uma estratégia para fomentar a inovação e a inclusão profissional. Ao remover as barreiras impostas pelos altos custos de licenciamento de softwares proprietários, o

FreeCAD oferece uma alternativa que equilibra qualidade técnica e acessibilidade. Esse movimento democratiza o acesso às ferramentas tecnológicas de ponta, permitindo que pequenos escritórios e profissionais autônomos compitam de forma justa e eficiente com grandes corporações, sem comprometer a qualidade de seus projetos.

O uso de plataformas livres permite que esses profissionais explorem todo o seu potencial, inovem e se desenvolvam tecnicamente, criando projetos que atendem aos padrões mais elevados da indústria, sem o peso dos custos adicionais.

A interoperabilidade promovida pelo uso de padrões abertos elimina as barreiras tecnológicas entre equipes multidisciplinares e diferentes plataformas, fortalecendo a comunicação e permitindo o desenvolvimento de projetos mais integrados e de maior qualidade. Essa capacidade de colaboração, aliada à redução de custos, promove uma cultura de trabalho mais sustentável e produtiva, onde a inovação é estimulada e recompensada.

Do ponto de vista econômico, o impacto de adotar o FreeCAD vai muito além dos custos de licenciamento. A capacidade de personalizar o software, adaptá-lo às necessidades específicas de cada projeto e integrar diferentes plataformas contribui diretamente para a eficiência operacional, melhorando a produtividade e minimizando a necessidade de investimentos adicionais. Isso resulta em uma economia significativa ao longo do ciclo de vida de um projeto, permitindo que as empresas concentrem seus esforços no que realmente importa: a qualidade do trabalho e a satisfação de seus clientes.

Ao optar por essa alternativa, as empresas não apenas economizam em custos, mas também ajudam a revitalizar o mercado, promovendo a entrada e o crescimento de novos talentos. Essa adoção não só beneficia os profissionais individualmente, mas também fortalece o ecossistema da construção civil como um todo, gerando projetos de qualidade, sustentáveis e acessíveis para todos os envolvidos.

REFERÊNCIAS

[1] AZHAR, S.; KHALFAN, M. M. A.; MAQSOOD, T. Building Information Modeling (BIM): now and beyond. Australasian Journal of Construction Economics and Building, v. 12, n. 4, p. 15-28, 2012.

[2] EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 2. ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2011.

[3] OLBINA, S.; ISSA, R. R. A. BIM-enabled collaboration and its effects on project outcome. International Journal of Project Management, v. 30, n. 1, p. 108-118, 2012.

[4] REDMOND, A.; HORE, A.; ALSHAWI, M.; WEST, R. Exploring how information exchanges can be enhanced through Cloud BIM. Automation in Construction, v. 24, p. 175-183, 2012.

[5] EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 2. ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2011.

[6] BUILDINGSMART INTERNATIONAL. IFC Overview Summary. buildingSMART International. Disponível em: https://www.buildingSMART.org/. Acesso em: 16 outubro 2024.

[7] FREECAD PROJECT. FreeCAD Documentation. FreeCAD Wiki. Disponível em: https://wiki.freecadweb.org. Acesso em: 16 outubro 2024.

[8] IFCOPENSHELL. Blog IFCOpenShell. Disponível em: http://blog.IfcOpenShell.org/. Acesso em: 16 outubro 2024.

[9] IFCOPENSHELL. Documentation: IFCOpenShell. IfcOpenShell Docs. Disponível em: https://docs.IfcOpenShell.org/. Acesso em: 16 outubro 2024.

[10] HAVRE, YORIK VAN. FreeCAD NativeIFC. GitHub. Disponível em: https://github.com/yorikvanhavre/FreeCAD-NativeIFC. Acesso em: 16 outubro 2024.

[11] BLENDER FOUNDATION. Bonsai Extension for Blender. Blender Extensions. Disponível em: https://extensions.blender.org/add-ons/bonsai/. Acesso em: 16 outubro 2024.

[12] HAVRE, YORIK VAN. Native IFC. Yorik's Blog. Disponível em: https://yorik.uncreated.net/blog/nativeifc. Acesso em: 16 outubro 2024.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Do Zero ao Teto II: o ensino ampliado do BIM

Do Zero ao Teto II: expanded BIM education

Stephanie Mendes Trufa | UFJF| mendesstephanie36@gmail.com1234
Igor Teodoro Oliveira | UFJF| igor.teodoro@estudante.ufjf.br
Maria Clara de Faria Reis Bento | UFJF| mariaclarafrb@gmail.com
Maria Fernanda Pinheiro Assunção | UFJF| mfpassuncao@gmail.com

DOI: 10.5281/zenodo.14474347

Resumo

As potencialidades da tecnologia *Building Information Modeling* (BIM), atualmente, são evidenciadas em diversas temáticas no âmbito das engenharias e da arquitetura, em específico no ambiente da construção civil, tendo em vista que sua utilização evoluiu e expandiu juntamente com o desenvolvimento das etapas do projeto. Ademais, é primordial que haja a capacitação dos usuários, principalmente, no ensino dos profissionais e dos estudantes utilizadores desta tecnologia, visando o aumento do impacto e da assertividade nos projetos desenvolvidos. O desafio da inserção do BIM tanto nas universidades quanto em empresas está pautado, entre muitos fatores, na ausência de capacitação dos profissionais, de modo que empecilhos são muitas vezes encontrados perante a curva de aprendizado das ferramentas e nos conceitos prévios que são interligados à tecnologia. Com o intuito de desenvolver as ações dos núcleos institucionais, o curso "Do Zero ao Teto II", disponibilizado de maneira online e gratuita, foi criado através de uma ação extensionista da Liga Acadêmica de *Building Information Modeling* da Universidade Federal de Juiz de Fora (LABIM - UFJF). Visando impactar interessados no aprendizado e aprimoramento das habilidades referentes à utilização dos softwares BIM em diferentes áreas do conhecimento, dentre elas, Topografia, Arquitetura, Engenharia Civil, Engenharia Elétrica, Criação de Famílias e Compatibilização de Projeto. O curso contou com parcerias externas e auxílio dos próprios membros do projeto, ambos com o intuito de difundir ainda mais o conhecimento a respeito da modelagem em BIM. O estudo se desenvolve por meio de uma revisão narrativa do curso, tendo como intuito a demonstração dos desafios e das conveniências observadas ao decorrer das ações voltadas para a extensão e como estas impactam no ensino do BIM no cenário, sendo o objeto de estudo o curso oferecido. O artigo foi estruturado com base nas seguintes etapas: a) apresentação da iniciativa "Do Zero ao Teto"; b) estratégias utilizadas para o impulsionamento do aprendizado; c) alcance de profissionais e estudantes. Vale destacar que o curso apresentou significativo impacto acadêmico, de modo que foi observado mais de 300 inscritos, estes espalhados entre diversas instituições de ensino e áreas de expertise. Os resultados também foram observados através dos trabalhos e das dúvidas enviadas pelos alunos, além do engajamento nas iniciativas presentes nas aulas. Entretanto, alguns desafios são válidos de se pontuar, como a diminuição da participação ao longo das semanas e as problemáticas referentes à expansão gradual do curso, sendo estes pontos de melhoria a serem pensados para edições futuras. O curso "Do Zero ao Teto" é uma estratégia real e possível de ser aplicada todos os anos, trazendo inovação às áreas de conhecimentos envolvendo o BIM para diversos públicos interessados no assunto, o que contribui positivamente no processo de inserção da tecnologia tanto no mercado de trabalho quanto no âmbito acadêmico, ainda nas universidades.

Palavras-chave: Ensino. BIM. Extensão. Inovação. Impacto Acadêmico.

Abstract

The potential of Building Information Modeling (BIM) technology today is broadly evident across various fields within engineering and architecture, especially in the civil construction scope, as its use has evolved and expanded alongside the development of numerous project stages. Furthermore, it is essential to provide adequate user training, particularly in the education of future professionals and students who use this innovative technology, with the aim of enhancing project impact and accuracy. The challenge of implementing BIM in both universities and companies is often linked to a lack of professional training, resulting in obstacles that can be related to the complex and steep learning curve of the tools that embrace various parts of the BIM domain, and by that, the preliminary concepts connected to the technology. With the objective of developing the institutional actions, the course "Do Zero ao Teto II," offered online and free of charge, was created through an extension initiative by the Academic League of Building Information Modeling at the Federal University of Juiz de Fora (LABIM - UFJF). This course aims to engage a wide range of individuals interested in learning and improving skills related to the effective use of BIM software across various fields of knowledge, such as Topography, Architecture, Civil Engineering, Electrical Engineering, Family Creation, and Project Compatibility. The course included valuable external partnerships and assistance from dedicated project members, both focused on further disseminating BIM modeling knowledge and enhancing the overall learning experience. This study develops through a narrative review of the course, with the goal of highlighting the main challenges and benefits observed during these extension actions and their substantial impact on BIM education, with the course as the central object of study. The article was structured based on the following stages: a) introduction of the "Do Zero ao Teto" Initiative; b) strategies used for enhancing learning; c) target audience profile and reach. Notably, the course had a significant academic impact, with over 300 registrants from various educational institutions and areas of expertise. The outcomes were also seen through the work and questions submitted by the students throughout the course, as well as their engagement in class initiatives. However, certain challenges were found and are worth noting, such as declining participation by the students over the weeks and issues related to the gradual expansion of the course, these being areas for improvement in future editions of the course. The "Do Zero ao Teto" course is a feasible, impactful strategy that could be implemented annually by the founding members, bringing innovation to BIM-related knowledge areas for a diverse audience interested in the topic, positively contributing to the integration of technology into both the job market and academia, especially within universities, while simultaneously fostering collaboration among different stakeholders in the field.

Keywords: Education. BIM. Extension. Innovation. Academic Impact.

INTRODUÇÃO

Sabe-se que o campo de estudo da tecnologia *Building Information Modeling* (BIM), "um sistema sociotécnico que, em última análise, envolve mudanças profundas nos processos de design, construção e gestão de edifícios" [1], vem crescendo cada vez mais no Brasil e no mundo. Tal dado torna mais comum a busca por capacitação por parte dos estudantes e profissionais da área. Essa necessidade de qualificação está diretamente ligada a eficiência e otimização dos projetos que irão se desenvolver no futuro e aos projetos já existentes no mercado, pois "A adoção do BIM – *Building Information Modeling* – constitui um novo paradigma para o desenvolvimento de empreendimentos no contexto da chamada Indústria 4.0" [2]. Fala-se muito atualmente sobre a urgência da implementação da tecnologia BIM. "Para atender a esta demanda, as escolas têm implementado uma variedade de disciplinas para expor os alunos às novas ferramentas" [3]. Porém, as iniciativas tomadas para viabilizar essa aplicação são datadas ou ainda não concretizadas, tendo em vista que o maior obstáculo para que isso aconteça é exatamente a falta de oportunidades de capacitação sobre o assunto.

As universidades têm um papel importante nesta transição, que é fazer com que a próxima geração de profissionais entenda BIM como um processo que suporta o trabalho em colaboração. Uma das implementações do BIM no ambiente acadêmico em formato atualizado e real é a criação de grupos de estudo e ligas acadêmicas, como a Liga Acadêmica de *Building Information Modeling* da Universidade Federal de Juiz de Fora (LABIM - UFJF), grupo de graduandos voltados a desenvolver um conhecimento a respeito de modelagem e diversos aspectos que rodeiam a complexa gama de

informações do BIM. Familiarizados com a necessidade de ciência do BIM por membros do mercado de trabalho da construção civil, em 2023 foi criado pela LABIM - UFJF, o curso “Do Zero ao Teto”, uma iniciativa que busca otimizar e aumentar os conhecimentos acerca do BIM tanto para estudantes quanto para profissionais. O curso contou com a inscrição de 268 participantes, abrangendo os minicursos arquitetônico, estrutural, hidrossanitário, elétrico e compatibilização [4]. Devido ao sucesso encontrado, em 2024, tornou-se real a segunda edição: o “Do Zero ao Teto II”, que busca abranger e expandir os ensinamentos de sua primeira edição.

O presente trabalho tem como objetivo detalhar e especificar as etapas e ações necessárias para a criação do curso em questão, mostrando a viabilidade de ações de capacitação do BIM no âmbito acadêmico e profissional. Isso será desenvolvido através de um relato de experiência: “que tem a finalidade de descrever uma experiência vivida que pode contribuir com a construção de conhecimento na área de atuação” [5]. Deste modo, pretende evidenciar as situações vividas durante a execução do projeto em questão - “Do Zero ao Teto II” - analisando tópicos importantes para a sua evolução e aprimoramento. Também serão abordados aspectos positivos e dificuldades enfrentadas, assim explicitando as motivações para a metodologia adotada durante sua execução até o alcance final dos resultados obtidos

DESENVOLVIMENTO

ZERO AO TETO II

O curso “Do Zero ao Teto II”, foi criado com o objetivo de preparar os alunos para enfrentar os desafios atuais da nova forma de projetar. Atuando com uma abordagem aplicada na disseminação de informações independentes, permitiu que os alunos se dedicassem às áreas que mais se identificaram. A estrutura foi planejada para integrar diferentes áreas de conhecimento, por meio de projetos fundamentados em saberes de topografia, arquitetura, engenharia civil, engenharia elétrica, criação de famílias, compatibilização de projeto e renderização, proporcionando uma formação multidisciplinar que possibilita que diferentes profissionais sejam incluídos no processo de aprendizado.

O curso, que funcionou em formato online e totalmente gratuito, teve a duração de aproximadamente oito semanas, e possibilitou uma flexibilidade que permite que os estudantes e profissionais possam conciliar esses novos conhecimentos sem comprometer sua rotina pessoal. Com público-alvo de universitários e profissionais da área de projetos, o curso almejava unir iniciantes, interessados em desenvolver novas competências, e atuantes, que planejam aumentar seus conhecimentos.

Deste modo, por meio de parcerias, membros dedicados e plataformas digitais, o curso se diferencia por oferecer uma experiência educacional simples e direta, que além do foco no conhecimento, almejava também o crescimento das conexões entre os inscritos e os mentores. Além disso, o curso contou com um diferencial destaque, a presença de mentorias semanais para cada disciplina, possibilitando assim, um atendimento pessoal pautado nas dúvidas encontradas, demonstrando compromisso com o desenvolvimento dos inscritos.

ESTRATÉGIAS DE ENSINO

Tendo em vista que os envolvidos na criação do curso são graduandos das áreas de engenharia e arquitetura da UFJF, as estratégias utilizadas na difusão do conhecimento foram pautadas em critérios que possibilitaram que os inscritos tivessem um aprendizado mais satisfatório. As estratégias e

plataformas utilizadas no curso foram idealizadas para otimizar o aprendizado e aumentar o engajamento dos alunos em um ambiente virtual dinâmico e interativo.

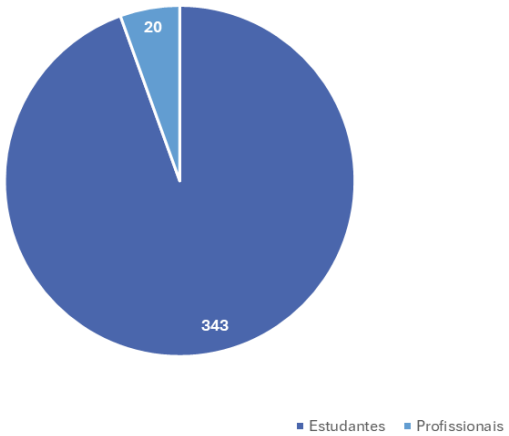
A principal estratégia adotada para transmitir os conhecimentos foi a utilização de videoaulas e roteiros que acompanharam todo o processo de modelagem. Os vídeos e roteiros apresentavam o passo a passo da modelagem de uma casa de dois pavimentos, com configuração unifamiliar, onde cada disciplina abordava seu projeto específico, com características para desenvolver essa habilidade. Essa abordagem permite que os estudantes absorvam informações enquanto possuem controle sobre quando essas aulas serão assistidas. Além disso, o uso de plataformas digitais é fundamental para o ensino. O curso utilizou a sala de aula virtual Google *Classroom* como ambiente virtual de aprendizagem. O uso da plataforma permite o acesso a recursos como vídeos, reuniões, postagens e fóruns de discussão, facilitando o envio de conteúdos e a colaboração entre os alunos.

Por fim, em soma a isto, sabendo que “O desenvolvimento do modelo BIM deve ser auxiliado por tutores e completado com a aprendizagem autodirigida” [6], outra estratégia utilizada foi a realização de mentorias semanais, onde membros da liga, atuando como monitores, se disponibilizaram em horários determinados, para tirar dúvidas individuais a respeito dos projetos ou de outros assuntos na gama de saberes do BIM.

PERFIL E ALCANCE DO PÚBLICO-ALVO

O curso “Do Zero ao Teto II" foi concebido com o intuito de atender um público diverso, abrangendo tanto profissionais quanto estudantes da área da construção civil, o que pode ser visto numericamente no gráfico 1 (Figura 1).

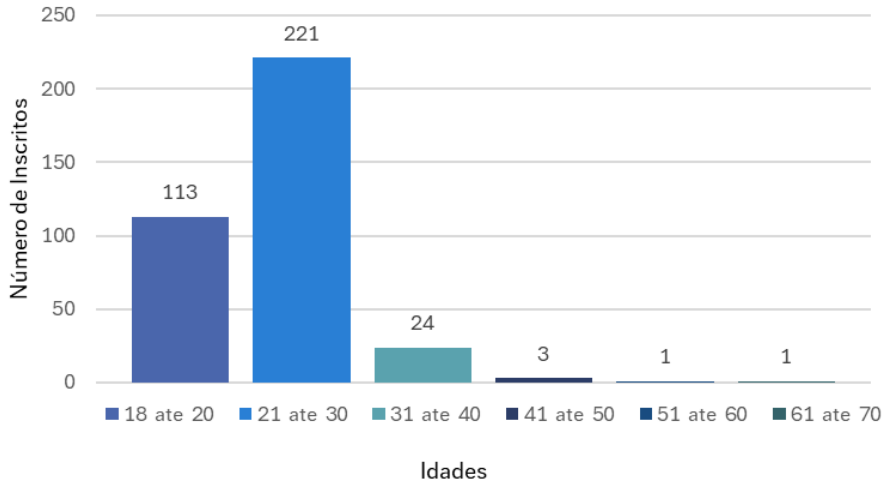
Figura 1: Relação Estudantes x Profissionais



Fonte: Autores.

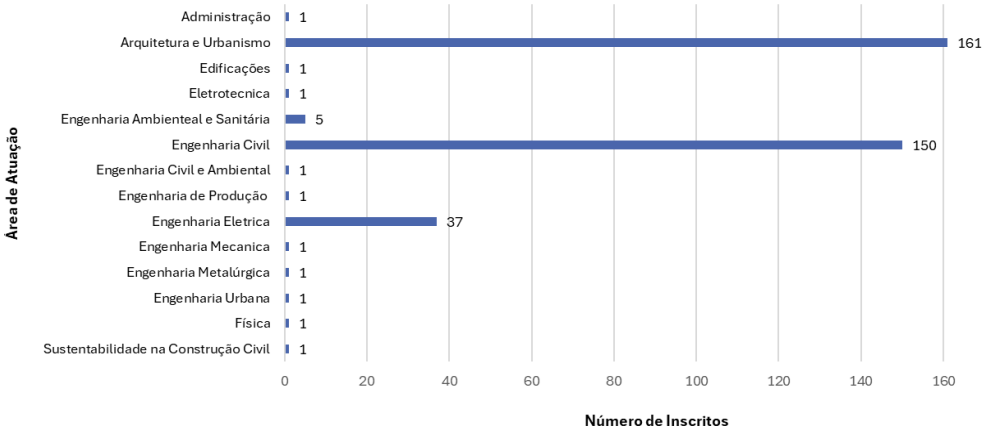
A faixa etária bem como a área de atuação foram bem variadas, como apresentado nos gráficos abaixo (Figuras 2 e 3).

Figura 2: Gráfico de Número de Inscritos x Idade



Fonte: Autores.

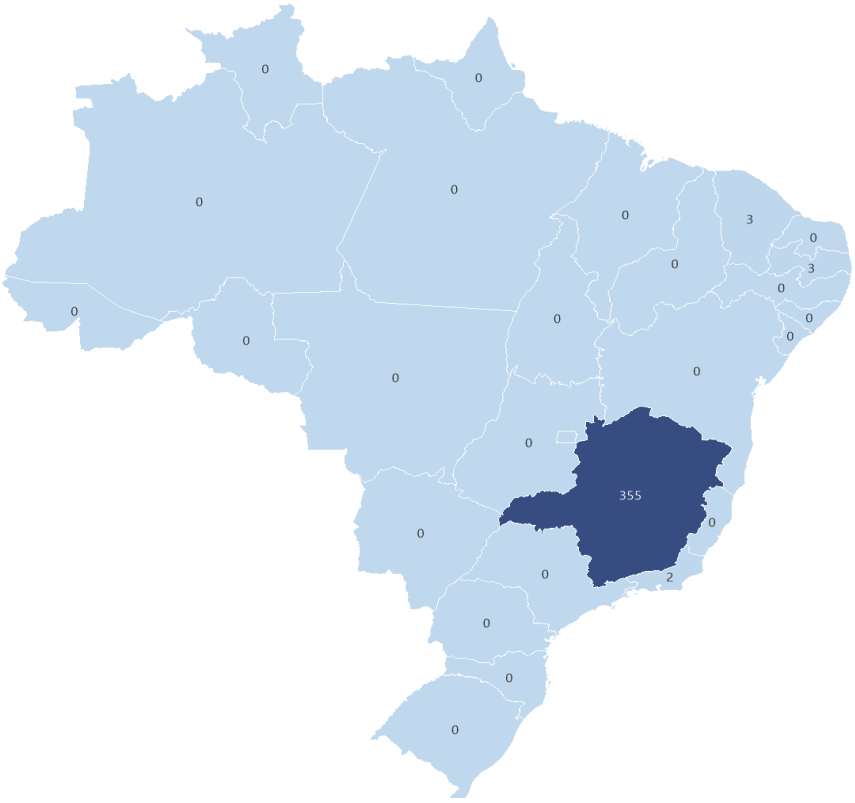
Figura 3: Gráfico das Áreas de Atuação



Fonte: Autores.

Embora a maior quantidade dos inscritos se localize no estado de Minas Gerais, principalmente na cidade de Juiz de Fora, ainda foi possível encontrar alunos nos estados do Rio de Janeiro, Ceará e Paraíba (Figura 4).

Figura 4: Número de Inscritos por Estado



Fonte: Autores.

Este curso é especialmente pensado para projetistas, mas também recebeu interessados de outras áreas, o que reflete a necessidade crescente do entendimento dessa nova tecnologia em um mercado em constante evolução. As motivações para a participação no curso são variadas e incluem desde o desejo de se manter ativo no mercado quanto a oportunidade de expandir seus conhecimentos.

RESULTADOS E CONCLUSÃO

As inscrições para o curso abriram no dia 12 de junho e, ao longo de um mês, registraram um total de 363 inscritos, abrangendo uma diversidade de áreas interessadas. É notório destacar que a sequência do curso, não implica esquecimento do anterior, pois por mais que pela realização de ambos, o conhecimento foi atualizado e intensificado, a presença na versão conseguinte apenas, ainda caracterizou grandes avanços para a criação de uma base sobre BIM.

Embora a maioria dos participantes fosse composta por estudantes de arquitetura e engenharia civil, também houve representatividade de áreas como engenharia ambiental e sanitária, engenharia elétrica, engenharia mecânica, entre outras. Essa pluralidade reforça a relevância do curso não apenas para uma, mas para várias disciplinas dentro do campo da construção civil. Isso demonstra-se fundamental para o desenvolvimento efetivo do mercado de trabalho, onde a interoperabilidade, “capacidade de troca de dados entre aplicações, o que estabiliza os fluxos de trabalho e, por vezes, facilita sua automação” [1] se torna aspecto chave para uma boa colaboração.

Ademais, analisando as potencialidades do BIM no âmbito acadêmico, principalmente no Brasil, a presença de um curso gratuito, ministrado por alunos da graduação reflete a crescente observada no ambiente da construção civil, explicitando um enfoque especializado por parte dos graduandos das áreas de engenharia e arquitetura da UFJF. Deste modo, com essa visibilidade, a expansão eminente

da liga no cenário do BIM atua como precursora para ações extensionistas no contexto acadêmico, gerando maior difusão dos conhecimentos do BIM, pois, “caberá às universidades capacitarem os novos profissionais que irão implementar BIM na indústria” [7].

Além disso, no que diz respeito à capacitação, o curso se destacou ao fornecer aos alunos as ferramentas necessárias para criar um projeto básico do zero. As aulas abordaram desde a introdução ao software até práticas recomendadas para sua utilização, proporcionando uma base sólida para aqueles que desejam se aventurar na modelagem em BIM. Como resultado, os participantes que concluíram mais de 60% do curso receberam um certificado de conclusão, o que reforça o desenvolvimento profissional obtido.

Entretanto, apesar do número significativo de inscritos, foi observado que apenas 194 participantes acessaram a plataforma onde as aulas estavam disponíveis, fato similar ao ocorrido na primeira versão. Em soma a isto, foi observado que ao decorrer das atividades, o número de usuários foi decrescendo na plataforma. Outro aspecto relevante da análise dos resultados é a necessidade de maior objetividade nos vídeos, que, por vezes, se mostraram longos e pouco concisos para iniciantes. Ademais, outras oportunidades de melhoria foram identificadas, como na necessidade de uma maior divulgação, principalmente junto ao mercado de trabalho, pois, embora tenha sido um curso aberto a todos, a baixa participação de profissionais em relação aos totais de inscritos (aproximadamente 5,5%) sugere que a divulgação direcionada não atingiu seu potencial máximo.

Portanto, com uma versão futura em análise, alguns pontos de melhoria tornam-se notórios de serem citados. A possibilidade de oferecer certificados por disciplina é uma ação que poderia incentivar ainda mais o engajamento dos alunos ao longo do curso, visto que age diretamente nos interessados em cada campo. De forma similar, com a presença de mais parcerias com empresas do setor da construção, usuárias de BIM, se mostra como uma estratégia eficaz para atrair mais profissionais e enriquecer a experiência dos alunos, promovendo um diálogo mais próximo entre acadêmico e profissional. Outro aspecto importante a ser considerado é a reavaliação das plataformas utilizadas, para que com o avanço do curso, todos os alunos tenham acesso a uma experiência mais fluida e satisfatória. Por fim, outro atributo de fácil implantação e de grande retorno é a reaplicação de um sistema de feedback após a conclusão do curso. Esse retorno é fundamental para entender as experiências dos alunos e identificar aprimoramentos, garantindo que futuras edições do curso sejam ainda mais relevantes e impactantes.

Em conclusão, o curso "Do Zero ao Teto II" revela ser uma estratégia viável e eficaz para a disseminação do conhecimento sobre BIM, com um potencial significativo para ser aplicado anualmente. A capacidade de atualizar constantemente o conteúdo garante que ele se adapte às inovações do setor, contribuindo para a formação de profissionais mais capacitados e preparados para os desafios do mercado. À medida que o BIM continua a evoluir, cursos como este desempenham um papel vital na formação de uma nova geração de profissionais capazes de utilizar essa tecnologia de maneira eficaz e inovadora.

REFERÊNCIAS

SACKS, R.; BARAK, R. *Teaching Building Information Modeling as an Integral Part of Freshman Year Civil Engineering Education*. ASCE Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, 2009. DOI: 10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000003.

[1] HIPPERT, Aparecida; MOLINA, Maurício. Inserção do BIM na formação em engenharia Civil: análise e reflexões. 3° Congresso Português de BIM, 2020, Porto. DOI: 10.24840/978-972-752-272-9_0213-0222.

[2] HOLLAND, R.; MESSNER, J.; PARFITT, K.; POERSCHKE, U.; PIHLAK, M.; SOLNOSKY, R. *Integrated Design Courses Using BIM as the Technology Platform*. In: SALAZAR, R.; ISSA, R. (Ed.). The BIM-Related Academic Workshop. Washington D.C., 2010. DOI: 10.4237/gtp. v6i2.218

[3] LOCKLEY, S*. BIM and Education. BIM Report, Riba Enterprises* LTD, London, 37, 12---19,<http://www.thenbs.com/pdfs/bimResearchReport_2011---03.pdf>(Apr. 7, 2011).

[4] ASSUNÇÃO, Maria Fernanda Pinheiro; TEIXEIRA, Patrick Albino; KNEIP, Rafael Bonioli. Do zero ao teto: uma iniciativa extensionista sobre o ensino de BIM. In: Encontro Nacional sobre o Ensino de BIM, 5., 2023. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2023. p. 1–1. DOI: https://doi.org/10.46421/enebim.v5i00.3472.

[5] BRASIL. Orientações de Relato de Experiência. Hospitais Universitários. Disponível em: https://www.gov.br/ebserh/pt-br/hospitais-universitarios/regiao-nordeste/hu-ufma/ensino-e-pesquisa/rede-de-pesquisa/orientação-relato-de-experiencia Acesso em: 28 out. 2024.

[6] BARISON, M. B.; SANTOS, E. T. Ensino de BIM: tendências atuais no cenário Internacional. Gestão & Tecnologia de Projetos, São Carlos, v. 6, n. 2, p. 67-80, dez. 2011. DOI: https://doi.org/10.4237/gtp.v6i2.218.

[7] RUSCHEL, Regina Coeli; ANDRADE, Marcelo de Morais; XAVIER DE ANDRADE, Max Lira Veras. O ensino de BIM no Brasil: onde estamos? Revista Brasileira de Ensino de Engenharia, v. 31, n. 2, p. 201-216, 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S1678-86212013000200012.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Uso do Quiz como estratégia metodológica para ensino-aprendizado do uso do BIM no curso de arquitetura e urbanismo: um relato de experiência

Use of Quiz as a methodological strategy for teaching and learning the use of BIM on architecture and urban planning course: an experience report

Letícia Keroly Bezerra Alexandrino | Centro Universitário Christus | leticia.alexandrino@unichristus.edu.br | 0000-0002-0716-9429

Andrezza Marina de Oliveira Santos | Universidade Federal do Rio de Janeiro | andrezza.santos@fau.ufrj.br| 0009-0002-4676-0219

DOI: 10.5281/zenodo.14474737

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo relatar a experiência realizada com a aplicação de um Quiz como estratégia metodológica para o ensino-aprendizagem do uso do *Building Information Modeling* (BIM) no curso de arquitetura e urbanismo, com foco na elaboração de projetos arquitetônicos. Em ambientes acadêmicos, observa-se, comumente, dificuldades significativas de participação e interação dos alunos em aulas com conteúdo teóricos, principalmente os que envolvem metodologias BIM, por se tratar de um assunto não palpável e por vezes complexo, pode tornar difícil a compreensão. Apesar das disciplinas escolhidas para o estudo serem de natureza prática, se fazem necessários a abordagem de alguns conteúdos teóricos, onde os desafios são mais evidentes, já que podem parecer abstratos e se tornar cansativos para os alunos, dificultando a tarefa do docente de manter o interesse e engajamento da turma no tópico abordado. Para abordar esses desafios, o estudo propõe a utilização de jogos como metodologia de ensino, mais especificamente a utilização do Quiz como ferramenta, contendo quatro perguntas sobre a aplicação da metodologia BIM em projetos arquitetônicos. Os alunos foram orientados a realizar uma leitura prévia sobre a metodologia BIM. Em seguida foram orientados a responder às perguntas do Quiz, que foi realizado em dois momentos, o primeiro de forma individual e o segundo em grupo, com a realização de discussões acerca das alternativas. A experiência foi realizada em uma turma da disciplina de Composição, Expressão e Representação 3 do terceiro semestre do curso de Arquitetura e Urbanismo. Observou-se que a aplicação do Quiz trouxe benefícios significativos para a compreensão dos textos pelos alunos. Os textos disponibilizados em sala para leitura geraram discussões e debates em grupo, trazendo, consequentemente, um aumento na pontuação do grupo quando comparado com a pontuação individual. A leitura prévia dos textos preparou os alunos para o Quiz individual e a etapa em grupo possibilitou o aprofundamento no conteúdo após um momento colaborativo de análise das alternativas do Quiz. Os resultados dessa experiência indicam que a adoção de metodologias ativas como a utilização de Quizzes pode ser uma alternativa altamente eficaz no ensino de conteúdos teóricos. Conclui-se, assim, que é essencial a elaboração e

adoção de novas estratégias de ensino-aprendizagem e novas metodologias de ensino, principalmente, para conteúdos teóricos e complexos, os quais colaborem na compreensão e estimulem o debate em sala de aula. A experiência com o Quiz demonstrou que metodologias interativas e colaborativas, que são características da metodologia BIM, podem estimular um maior engajamento dos alunos e melhorar a dinâmica de sala de aula. O estudo contribui de forma importante com área por difundir o ensino do BIM na universidade e propor a criação de novas metodologias didáticas que acompanhem o surgimento de novas e necessidades educacionais no âmbito universitário.

Palavras-chave: *Building Information Modeling*. Arquitetura e urbanismo. Práticas metodológicas. Ensino.

Abstract

This paper aims to report the experience of using a Quiz as a methodological strategy for teaching and learning the use of Building Information Modeling (BIM) in an architecture and urban planning course, focusing on the development of architectural projects. In academic environments, significant difficulties in student participation and interaction are commonly observed in classes with theoretical content, especially those involving BIM methodologies, since it is a non-tangible and sometimes complex subject that can make understanding difficult. Although the subjects chosen for the study are of a practical nature, it is necessary to address some theoretical content, where the challenges are more evident, since they can seem abstract and become tiring for students, making it difficult for the teacher to maintain the interest and engagement of the class in the topic being addressed. To address these challenges, the study proposes the use of games as a teaching methodology, more specifically the use of a Quiz as a tool, containing four questions about the application of the BIM methodology in architectural projects. Students were instructed to do some prior reading on the BIM methodology. They were then instructed to answer the questions in the Quiz, which was carried out in two stages, the first individually and the second in a group, with discussions about the alternatives. The experiment was carried out in a class of the Composition, Expression and Representation 3 discipline of the third semester of the Architecture and Urbanism course. It was observed that the application of the Quiz brought significant benefits to the students' understanding of the texts. The texts made available in the classroom for reading generated discussions and debates in groups, consequently bringing an increase in the group's score when compared to the individual score. The prior reading of the texts prepared the students for the individual Quiz and the group stage allowed for a deeper understanding of the content after a collaborative moment of analysis of the Quiz alternatives. The results of this experiment indicate that the adoption of active methodologies such as the use of Quizzes can be a highly effective alternative in teaching theoretical content. It is therefore concluded that it is essential to develop and adopt new teaching-learning strategies and new teaching methodologies, especially for theoretical and complex content, which contribute to understanding and stimulate debate in the classroom. The experience with the Quiz demonstrated that interactive and collaborative methodologies, which are characteristics of the BIM methodology, can stimulate greater student engagement and improve classroom dynamics. The study makes an important contribution to the field by disseminating the teaching of BIM in universities and proposing the creation of new teaching methodologies that accompany the emergence of new educational needs in the university environment.

Keywords: Building Information Modeling. Architecture and urbanism. Methodological practices. Teaching.

INTRODUÇÃO

O *Building Information Modeling* (BIM), ou Modelagem da Informação da Construção em português, é conhecido como um processo metodológico para a elaboração e o gerenciamento de projetos na construção civil, baseado na modelagem de suas informações. O BIM visa auxiliar na criação e no gerenciamento das informações dos projetos, além de contribuir para a execução da obra e a operação do edifício. Por meio da integração de diferentes conhecimentos, o objetivo é gerar um modelo digital da construção, substituindo a tradicional série de desenhos, o que possibilita alterações de maneira fácil e intuitiva [1].

> *A tecnologia BIM facilita o trabalho simultâneo de múltiplas disciplinas de projeto. Apesar de a colaboração usando desenhos também ser possível, ela é inerentemente mais difícil e mais demorada do que trabalhar com um ou mais*

> *modelos 3D coordenados nos quais o controle de modificações possa ser bem gerenciado. Isso abrevia o tempo de projeto e reduz significativamente os erros de projeto e as omissões [1]*

A partir dessas vantagens, o BIM vem sendo implantado nas universidades, especialmente nos cursos de arquitetura e urbanismo e nas engenharias em geral. A possibilidade de compatibilização entre as disciplinas - projeto arquitetônico, estrutural e de instalações - corrobora a importância de inserir o BIM nos cursos de forma integrada, com o objetivo de construir competências nos alunos, como a habilidade de compatibilizar projetos [2].

Salgado [3] afirma que "o correto entendimento sobre BIM é o primeiro obstáculo à sua adoção, uma vez que muitos ainda o entendem apenas como 'ferramenta'". A autora ainda afirma que "é indiscutível a dificuldade de se mudar toda uma estrutura de curso para incluir o BIM no ensino, dada a complexidade do tema" [3]. Apesar da resistência encontrada, a metodologia BIM vem sendo incorporada nas grades curriculares dos cursos da construção civil, como Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil. Batistello, Balzan e Pereira (2019) apresentam possíveis vantagens do uso do BIM no ambiente de ensino, entre elas: a) Ensino combinado de diferentes métodos de integração para o projeto; b) Diminuição de erros pela integração de disciplinas; c) Redução do número de erros de projeto; d) Estímulo ao uso de análises e simulações durante as fases projetuais que contemplam custos, conforto térmico, acústico e lumínico; e e) Coordenação eficaz entre o projeto arquitetônico e os de conhecimentos inerentes.

Devido à complexidade do BIM, o uso de estratégias de gamificação proporciona abordagens inovadoras para o ensino da metodologia nos cursos de graduação, onde os alunos ainda não tiveram contato com o conteúdo. A Gamificação consiste em utilizar elementos de jogos para aumentar o engajamento dos alunos em uma determinada atividade [4].

Diante da importância da gamificação para o ensino e da complexidade do tema a ser discutido em sala, este artigo tem como objetivo relatar a experiência realizada com a aplicação de um Quiz como estratégia metodológica de gamificação como forma de tornar mais didático o ensino-aprendizagem do *Building Information Modeling* (BIM) no curso de arquitetura e urbanismo, com foco na elaboração de projetos arquitetônicos.

MÉTODO

Trata-se de um estudo descritivo do tipo relato de experiência, realizado durante o período de estágio em docência nas disciplinas do curso de Arquitetura e Urbanismo no ano de 2022. Propõe-se abordar a aplicação de um Quiz sobre a metodologia BIM nos projetos arquitetônicos e seus respectivos benefícios para o ensino-aprendizagem dos estudantes de Arquitetura e Urbanismo durante a disciplina de Composição, Expressão e Representação 3, do terceiro semestre.

As disciplinas de Composição, Expressão e Representação fazem parte da grade curricular do curso de Arquitetura e Urbanismo e estão disponíveis para os alunos do primeiro ao sétimo semestre. De modo geral, essas disciplinas têm o objetivo de auxiliar nas práticas projetuais das disciplinas de Ateliê de Projetos, através do ensino de normas e técnicas de representação em Arquitetura e Urbanismo.

A partir do terceiro semestre, essa representação passa a ocorrer por meio da modelagem da informação em softwares BIM, como o Revit. A inserção do BIM na grade curricular gerou a necessidade de integração das disciplinas de Ateliê de Projeto com outras áreas, como Teoria, História e Projeto, Tecnologias da Construção, Instalações e Sistemas Estruturais, o que ocorreu em decorrência de uma das propostas da metodologia BIM: a compatibilização de projetos.

Dessa forma, as disciplinas de Composição, Expressão e Representação cumpriram o papel tanto de ensinar normas e técnicas de representação de projetos de arquitetura quanto de integrar as demais disciplinas às de projeto. Para isso, foi necessário explicar, durante essas aulas, teorias básicas da metodologia BIM que vão além do uso de softwares. Como essas teorias são complexas, especialmente para alunos do terceiro semestre, tornou-se necessário implementar uma metodologia diferenciada, sendo a escolhida a elaboração e aplicação de um Quiz.

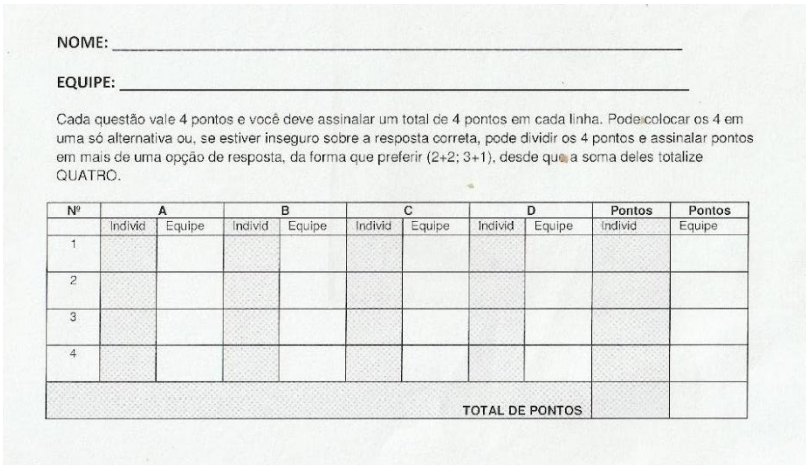
Por se tratar de um estudo do tipo relato de experiência, não foi necessária a aprovação da pesquisa no Comitê de Ética. No entanto, todo o respaldo teórico foi devidamente referenciado ao longo do texto.

RESULTADO E DISCUSSÕES

Devido ao caráter prático da disciplina de Composição, Expressão e Representação, conteúdos teóricos tendem a ser cansativos e pouco atrativos para os alunos, resultando em baixa participação durante as aulas. Consequentemente, atividades de leitura propostas para complementar as aulas também não despertam o interesse dos estudantes, que frequentemente deixam de ler ou de prestar atenção. Para estimular o engajamento nas aulas teóricas, foi sugerida uma nova metodologia de ensino-aprendizagem com o uso de jogos, promovendo um aprendizado mais lúdico [4] [2].

O jogo proposto para a disciplina é um Quiz, o qual foi dividido em quatro etapas. A primeira etapa consistiu na leitura individual de um texto sobre a aplicação do BIM nos processos de projeto. Em seguida, foi distribuída uma folha de resposta (ver Figura 1) para que os alunos pudessem responder individualmente a um questionário com quatro perguntas de múltipla escolha sobre o texto, em que cada uma era composta por itens de “a” a “d”. Essa etapa permitiu que os alunos colocassem em prática o que haviam apreendido durante a leitura, sem interferências.

Figura 1: Modelo da folha de resposta.



NOME: _____

EQUIPE: _____

Cada questão vale 4 pontos e você deve assinalar um total de 4 pontos em cada linha. Pode colocar os 4 em uma só alternativa ou, se estiver inseguro sobre a resposta correta, pode dividir os 4 pontos e assinalar pontos em mais de uma opção de resposta, da forma que preferir (2+2; 3+1), desde que a soma deles totalize QUATRO.

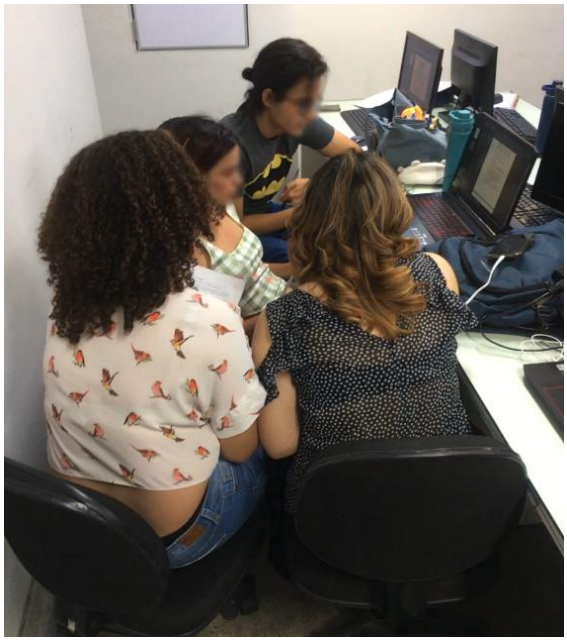
Nº	A		B		C		D		Pontos	Pontos
	Individ	Equipe	Individ	Equipe	Individ	Equipe	Individ	Equipe	Individ	Equipe
1										
2										
3										
4										
TOTAL DE PONTOS										

Fonte: acervo pessoal (2022).

No entanto, a resolução das questões não ocorreu de forma habitual, ou seja, através do ato de assinalar apenas um dos itens. De acordo com o enunciado apresentado na Figura 1: Cada questão vale 4 pontos e você deve assinalar um total de 4 pontos em cada linha. Pode colocar os 4 em um só alternativa ou, se estiver inseguro sobre a resposta correta, pode dividir os 4 pontos e assinalar pontos em mais de uma opção de resposta, da forma que preferir (2+2; 3+1), desde que a soma deles totalize QUATRO.

A terceira etapa compreendeu a divisão da turma em 4 grupos com 4 alunos cada. Nessa fase, os grupos foram instruídos a debater entre si sobre o texto e a resolução das questões, buscando obter maiores pontuações em comparação às obtidas de forma individual (Figura 2).

Figura 2: Momento de discussão e resolução das questões em grupo



Fonte: acervo pessoal (2022).

Após a resolução do Quiz, as equipes apresentaram suas respostas simultaneamente (Figura 3), para que a docente e a estagiária em docência pudessem disponibilizar a pontuação correlacionada às alternativas corretas, esclarecendo as possíveis dúvidas. Esse momento permitiu novos debates enriquecedores em sala de aula.

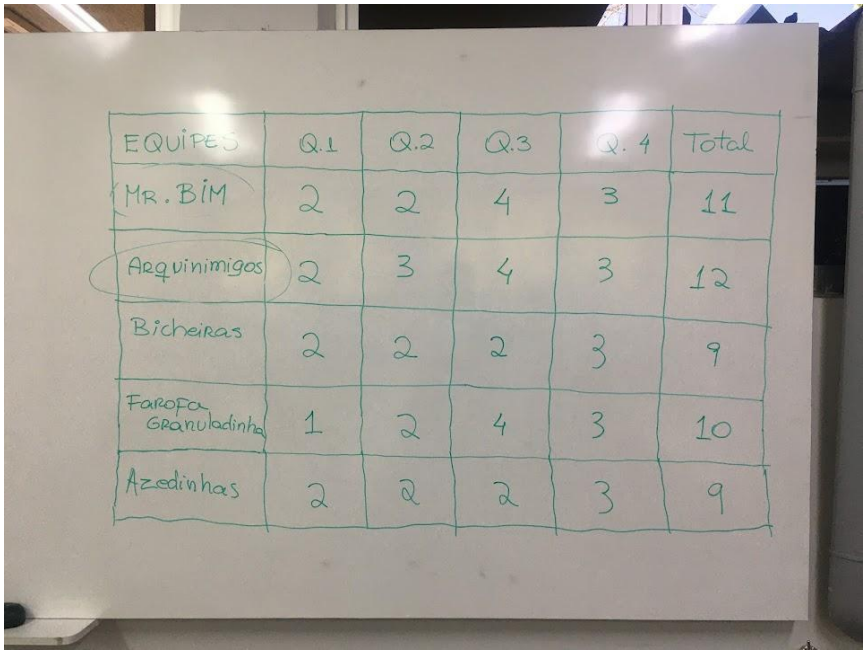
Figura 3: Apresentação das respostas pelos grupos.



Fonte: acervo pessoal (2022).

Destaca-se que as pontuações referentes aos acertos das questões eram inseridas em uma tabela desenhada na lousa, permitindo que os alunos acompanhassem o progresso ao longo da atividade (Figura 4).

Figura 4: Tabela com a pontuação dos grupos.

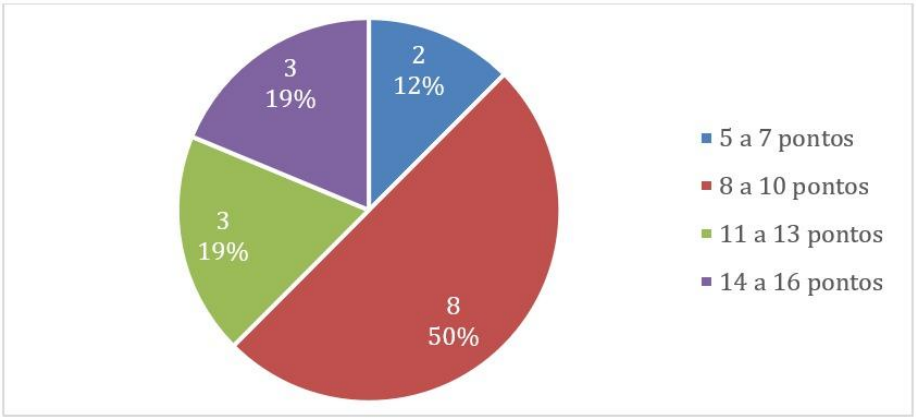


EQUIPES	Q.1	Q.2	Q.3	Q. 4	Total
MR. BIM	2	2	4	3	11
Arquinimigos	2	3	4	3	12
Bicheiras	2	2	2	3	9
Farofa Granuladinha	1	2	4	3	10
Azedinhas	2	2	2	3	9

Fonte: acervo pessoal (2022).

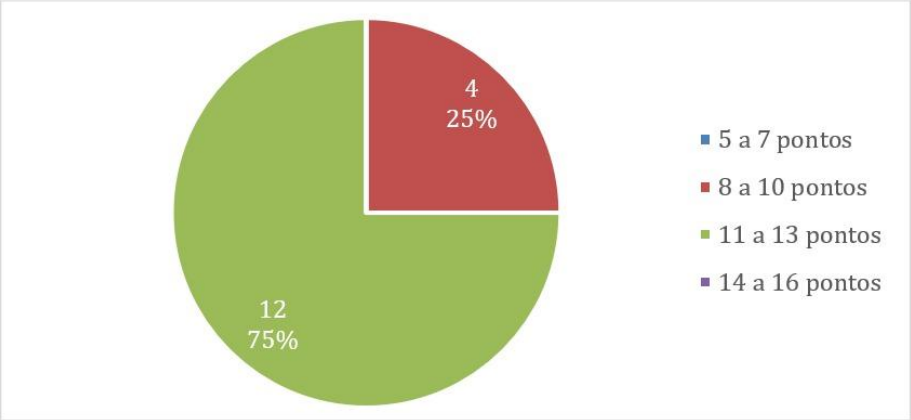
A partir das respostas, foi possível obter dados que foram organizados em forma de gráficos. O gráfico 1 mostra a porcentagem de acertos das questões respondidas individualmente por intervalo de quantidade de pontos, com quatro escalas de acertos: de 5 a 7 pontos, de 8 a 10 pontos, de 11 a 13 pontos e de 14 a 16 pontos (Figura 5). O gráfico 2 aponta a porcentagem de acertos por intervalo de pontos durante as discussões em grupo, apresentando as mesmas quatro escalas de acertos do gráfico anterior (Figura 6).

Figura 5: Pontuação individual.



Fonte: elaborada pelas autoras (2022).

Figura 6: Pontuação em grupo.



Fonte: elaborada pelas autoras (2022).

A análise dos gráficos revela que, após os alunos se reunirem e discutirem sobre o texto e a resolução das questões, houve um aumento nos acertos de 56% na categoria de 11 a 13 pontos, passando de 19% para 75%. Além disso, houve uma redução de 25% da categoria de 8 a 10 pontos, ficando com 25% de acertos, e de 12% e de 19% nas categorias 5 a 7 pontos e 14 a 16 pontos, respectivamente, totalizando 0% de acertos em ambas.

Esses resultados apontam para a importância do uso de metodologias de ensino-aprendizagem de forma lúdica, como, por exemplo, jogos, para garantir debates e interações entre os alunos em sala de aula, contribuindo para a compreensão dos conteúdos, especialmente os teóricos.

CONCLUSÃO

Conclui-se, assim, que é essencial a elaboração e adoção de novas estratégias de ensino-aprendizagem e de novas metodologias de ensino, principalmente para conteúdos teóricos e complexos, que colaboram na compreensão e estimulam o debate em sala de aula.

Observou-se que a ação de dividir a atividade em duas etapas permitiu, primeiramente, que o aluno aplicasse de forma individual o conhecimento adquirido ao longo das leituras disponibilizadas sobre o conteúdo e, em um segundo momento, o compartilhamento e a discussão do assunto com seus colegas, adquirindo novos conhecimentos ou novas perspectivas acerca do mesmo tema.

Dessa forma, eles puderam trocar informações e ajudar na resolução dos exercícios, explicando de uma forma mais clara e, consequentemente, alcançando pontuações melhores do que quando a atividade é realizada de forma individual.

Compreende-se que a experiência com o Quiz demonstrou que metodologias interativas e colaborativas, características da metodologia BIM, podem estimular um maior engajamento dos alunos e melhorar a dinâmica da sala de aula. O estudo contribui de forma significativa para a área ao difundir o ensino do BIM na universidade e propor a criação de novas metodologias didáticas que acompanhem o surgimento de novas necessidades educacionais no âmbito universitário.

O estudo contou com algumas limitações. Entre elas, destaca-se a dificuldade no engajamento inicial dos alunos, visto que estes não têm o costume de ler. Foi preciso dedicar um período da aula para a realização da leitura de um texto específico sobre a aplicação do BIM nos processos de projeto. Para suprir essa limitação, propõe-se a indicação da leitura para ser realizada em casa, o que permitirá mais tempo para a aplicação do Quiz e as discussões em sala. Dessa forma, o aluno poderá se dedicar melhor à leitura e, com mais calma, alcançar melhores resultados.

Como sugestão para pesquisas futuras, propõe-se aplicar este Quiz em outras turmas da disciplina de Composição, Expressão e Representação, permitindo comparações que tragam resultados mais concretos. Além disso, sugere-se a criação de um questionário aberto, com respostas anônimas, para obter o feedback dos alunos sobre o impacto do Quiz na compreensão do conteúdo abordado em sala. Ressalta-se que essa estratégia pode ser aplicada e adaptada a outras atividades que envolvam leitura e discussão de temas variados, sem necessidade de se restringir exclusivamente ao uso do BIM.

REFERÊNCIAS

[1] EASTMAN, Chuck *et al.* BIM handbook: a guide to *Building Information Modeling* for owners, managers, designers, engineers and contractors. [*S. l.*]: Wiley & Sons, Incorporated, John, 2011. 640 p. ISBN 9781118021699.

[2] BATISTELLO, Paula; BALZAN, Katiane Laura; PEREIRA, Alice Theresinha Cybis. BIM no ensino das competências em arquitetura e urbanismo: transformação curricular. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 10, p. e019019, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8653989. Acesso em: 29 out. 2024.

[3] SALGADO, Mônica Santos *et al.* BIM no ensino de arquitetura: estratégias didáticas na formação profissional / Mônica Santos Salgado (Organizadora). – Rio de Janeiro: Rio Books, 2023.

[4] SOUZA, Antonio Nadson Mascarenhas *et al.* Utilização de metodologias ativas e elementos de gamificação no processo de ensino-aprendizagem da contabilidade: experiência com alunos da graduação. Desafio Online, v.8, n.3, pp. 502-523, 2020. Disponível em: https://desafioonline.ufms.br/index.php/deson/article/view/10317. Acesso em: 25 out. 2024.

[5] SANTOS, Ranielle Lopes dos; CAMPELO FILHO, Cláudio Roberto; VALÉRIO, Bianca Maria Vasconcelos. Otimização da extração de quantitativos para orçamento de obras por meio de software BIM: uma proposta de matriz de parâmetros. Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 18, n. 1, p. 151-172, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.11606/gtp.v18i1.204175. Acesso em: 25 out. 2024.

Área temática:
Gestão da informação

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Automatização do levantamento de dados em projetos de drenagem para rodovias

Automation of data acquisition in highway drainage design projects

Giovanni Manzi |Sondotécnica Engenharia| giovanni.manzi.ext@sondotecnica.com.br | 0009-0006-3048-970X
Raiffe de Araújo Dias |Sondotécnica Engenharia| raiffe.dias.ext@sondotecnica.com.br | 0009-0008-3585-9591
Natalia Nakamura Barros |Sondotécnica Engenharia| natalia.barros.ext@sondotecnica.com.br | 0000-0001-8050-3481

DOI: 10.5281/zenodo.14474805

Resumo

O projeto de drenagem em estradas e rodovias segue uma série de regras e tarefas repetitivas em toda a sua extensão. A fase de estudos preliminares de projetos de drenagem em rodovia envolve a compreensão da situação atual e levantamento de dados. Geralmente os cadastros de dispositivos existentes em rodovias encontram-se em documentos em formato PDF disponibilizados pela contratante. Na forma tradicional, os cadastros fornecidos pela contratante são analisados de forma visual e os dados são contemplados no estudo preliminar através da inserção manual dos cadastros nos softwares de projetos. Entretanto, a extração manual da informação requer muito tempo e é um processo passível a erros. Para solucionar esses problemas, esse estudo tem como objetivo automatizar a extração de dados a partir de documentos, visando a implementação das informações de campo em softwares utilizados na metodologia BIM. Este estudo utilizou como caso projetos de drenagem em diferentes trechos da rodovia BR-101/SC para facilitar estudos preliminares, verificar o estado atual dos bueiros existentes e solicitar cadastro para a equipe de topografia. O método aplicado nesta pesquisa foi o *Design Science Research* (DSR), que visa a buscar uma solução para um determinado problema. Foi desenvolvido um artefato na forma de método, que se apresenta como um conjunto passos (algoritmo) usados para executar uma tarefa. O seguinte procedimento foi adotado: conscientização, sugestão, desenvolvimento, avaliação e conclusão. Na etapa de conscientização, buscou-se compreender a situação problemática, que neste trabalho foi o levantamento manual de dados dos bueiros para projetos de drenagem de rodovias. Na etapa de sugestão, propôs-se um método de extração de dados com uso de programação visual. Na etapa de desenvolvimento, foi desenvolvido um algoritmo no software de projetos de rodovias. Na etapa de avaliação, o algoritmo foi testado pela equipe de especialistas. O algoritmo desenvolvido é composto pelos seguintes passos: (i) extração de dados de tipo, geometria e localização dos bueiros nas rodovias, a partir de documentos em formato PDF; (ii) inserção dos dados extraídos no software Autodesk Civil3D; (iii) verificação dos elementos pertinentes ao projeto; (iv) exportação das informações dos elementos de interesse para o Excel e (v) exportação dos dados da tabela do Excel para o Google Earth e o Qgis em formatos KMZ e KML. Os dados exportados foram enviados para a equipe de topografia, para validação e complemento das informações in loco. Como principais resultados alcançados, obteve-se um método automatizado de implantação dos bueiros no Civil 3D, a partir dos dados disponíveis nos cadastros de dispositivos existentes em rodovias; e um método automatizado de envio destes dados para auxílio no levantamento de informações pela equipe de topografia, em formato KMZ. Como conclusão, a implementação do algoritmo desenvolvido auxiliou na redução do tempo dos seguintes processos: na extração das informações, na concepção de projeto e no envio de informações para o campo. O método desenvolvido e aplicado neste projeto específico, pode ser replicado em outros projetos que necessitem da

extração de dados a partir de documentos e da reutilização dessas informações em diferentes tipos de softwares para projetos. A automatização de tarefas repetitivas durante a etapa projetual reduz tempo, custos e erros, aumentando a confiabilidade de projeto, a precisão dos dados e o desempenho da equipe.

Palavras-chave: Infraestrutura. Drenagem. Rodovia. BIM. Automatização. Dynamo.

Abstract

The design of road and highway drainage systems involves a series of standardized procedures and repetitive tasks. The preliminary study phase of such projects necessitates understanding existing conditions and collecting relevant data. Typically, records of existing drainage infrastructure, such as culverts, are provided by the client in PDF format. Traditionally, these records are visually analyzed, and the data is manually entered into project software. However, manual data extraction is time-consuming and error prone. To address these limitations, this study aimed to automate data extraction from these documents to facilitate the integration of field information into software utilized within the Building Information Modeling (BIM) methodology. This research employed drainage projects from various sections of the BR-101/SC highway in Brazil as case studies. These case studies served to streamline preliminary studies, verify the current condition of existing culverts, and inform requests for updated records from the survey team. This research applied the Design Science Research (DSR) method, which focuses on developing solutions to specific problems. An artifact, in the form of a methodological algorithm, was developed to automate the data extraction process. The DSR process followed the stages of awareness, suggestion, development, evaluation, and conclusion. The awareness stage identified the problem of manual data collection for highway drainage projects. The suggestion stage proposed a visual programming method to extract data The development stage involved creating an algorithm within highway design software. The evaluation stage consisted of testing the algorithm with a team of experts. The developed algorithm comprises the following steps: (i) extraction of culvert type, geometry, and location data from PDF documents; (ii) insertion of the extracted data into Autodesk Civil 3D software; (iii) verification of relevant project elements within the software; (iv) export of the relevant element data to an Excel spreadsheet; and (v) export of the Excel data to Google Earth and QGIS in KMZ and KML formats, respectively. The exported data was then provided to the survey team for validation and the acquisition of additional field information. The primary results of this study include an automated method for integrating culvert data into Civil 3D based on information from highway records and an automated method for disseminating this data to the survey team in KMZ file format. In conclusion, the implementation of the developed algorithm reduced the time required to extract data, project conceptualization, and information delivery to field personnel. The method developed and applied in this project can be replicated in other projects requiring data extraction from documents and the subsequent reuse of this information in various project software platforms. Automating repetitive tasks during the design phase reduces time, costs, and errors, while simultaneously increasing project reliability, data accuracy, and team performance.

Keywords: Infrastructure. Drainage. Highway. BIM. Automation. Dynamo.

INTRODUÇÃO

Projetos de infraestrutura rodoviária são fundamentais para o desenvolvimento econômico, social e territorial de uma região. As rodovias são as artérias que conectam cidades, regiões e países, facilitando o transporte de pessoas e mercadorias. A eficiência e a qualidade da infraestrutura rodoviária têm impactos diretos na competitividade econômica, na mobilidade urbana e na qualidade de vida dos cidadãos (1).

A drenagem é uma componente fundamental da infraestrutura rodoviária, desempenhando um papel crucial na manutenção da segurança, durabilidade e funcionalidade das estradas. A correta gestão das águas pluviais e da drenagem superficial e subterrânea é vital para prevenir danos, garantir a eficiência do tráfego e proteger o meio ambiente.

Os estudos de drenagem, no entanto, exigem uma coleta de dados minuciosa e detalhada, o que tradicionalmente é feito de forma manual, demandando tempo e mão de obra especializada. Este processo envolve a análise de cadastros de dispositivos de drenagem existentes fornecidos em formato

PDF pelos contratantes. No entanto, a inserção manual desses dados nos softwares de projeto, como o Autodesk Civil 3D, torna o processo suscetível a erros.

Com o avanço das tecnologias da informação aplicadas à engenharia, a automatização de tarefas repetitivas tornou-se uma ferramenta indispensável para aumentar a produtividade e a qualidade dos projetos. A Modelagem de Informação da Construção (BIM) já é amplamente adotada em diversos segmentos de engenharia civil, proporcionando um ambiente colaborativo que integra diferentes disciplinas. No entanto, a correlação dos dados cadastrados e sua implementação direta em softwares BIM para o desenvolvimento de projeto apresenta um desafio significativo, desprendendo determinados recursos apenas para migrar informações. Desse modo, a extração manual da informação requer muito tempo e é um processo passível a erros

Para solucionar esses problemas, este estudo tem como objetivo automatizar a extração de dados a partir de documentos, visando a implementação das informações de campo em softwares BIM. Este estudo utilizou como caso projetos de drenagem em diferentes trechos da rodovia BR-101/SC para facilitar estudos preliminares, verificar o estado atual dos bueiros existentes e solicitar cadastro para a equipe de topografia.

REVISÃO DA LITERATURA

BIM consiste em um "conjunto integrado de processos e tecnologias que permite criar, utilizar, atualizar e compartilhar, colaborativamente, modelos digitais de uma construção" (2). O uso de BIM na engenharia civil tem sido adotado por proporcionar uma visão integrada de todas as etapas do projeto, desde a concepção até a operação e manutenção dos ativos. Além disso, o uso do BIM pode facilitar a comunicação entre as equipes envolvidas e diferentes disciplinas, permitindo que todos os dados necessários ao projeto sejam visualizados e manipulados em uma plataforma comum.

O uso de BIM pode facilitar a automação de processos na engenharia civil, com o objetivo de reduzir o trabalho manual, aumentar a precisão e melhorar a eficiência. Com o uso de linguagens de programação visual é possível automatizar tarefas repetitivas em softwares de modelagem BIM. O uso dessas tecnologias permite não apenas acelerar o processo de projeto, mas também reduzir erros e retrabalho.

Existem diversos estudos com foco na automatização de processos na engenharia. Kim, Chin e Choo desenvolveram um algoritmo baseado em regras para agilizar a criação de produtos 2D baseados em BIM (3). Huang *et al.* desenvolveram um método para integrar BIM e método de elementos finitos a partir da automatização de tarefas como atribuição de propriedade de material, simulação de construção e geração de malha de alta qualidade (4). Fischer *et al.* apresentaram a automação da análise de rotas de fuga para verificação de código de construção baseado em BIM (5). E Bourahla *et al.* desenvolveram um método de automatização de processos de projeto estrutural, a partir da geração de sistemas duais de concreto reforçado com base nas configurações arquitetônicas extraídas do IFC (6).

Apesar dos diversos estudos existentes, são poucos que têm como foco projetos de infraestrutura rodoviária, especificamente na área de drenagem. Deste modo, embora a automação de processos com uso de BIM venha sendo estudada e implementada em diversos campos da arquitetura e engenharia civil, sua difusão no âmbito da infraestrutura ainda é incipiente. Esse tipo de ativo representa um grande gargalo enfrentado por países em desenvolvimento, tendo em vista uma inerente complexidade envolvida em projeto e execução somada a elevados investimentos públicos associados (7).

METODOLOGIA

O método aplicado nesta pesquisa foi o *Design Science Research* (DSR), que visa a buscar uma solução para um determinado problema. O DSR é um método de pesquisa utilizado principalmente em áreas como engenharia, sistemas de informação, design e ciências aplicadas. Ele foca no desenvolvimento e na avaliação de artefatos (como modelos, métodos, sistemas ou processos) para resolver problemas práticos e complexos. Diferente de métodos tradicionais de pesquisa que se concentram na observação e análise de fenômenos, o DSR tem como objetivo criar e validar soluções inovadoras (8).

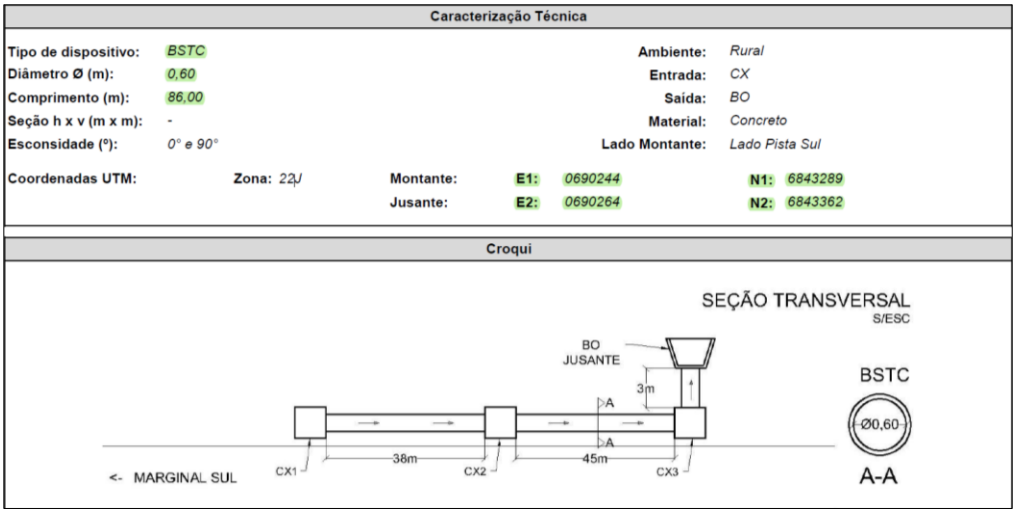
Foi desenvolvido um artefato na forma de método, que se apresenta como um conjunto passos (algoritmo) usados para executar uma tarefa. O seguinte procedimento foi adotado: conscientização, sugestão, desenvolvimento, avaliação e conclusão. Na etapa de conscientização, buscou-se compreender a situação problemática, que neste trabalho foi o levantamento manual de dados dos bueiros para projetos de drenagem de rodovias. Na etapa de sugestão, propôs-se um método de extração de dados com uso de programação visual. Na etapa de desenvolvimento, foi desenvolvido um algoritmo no software de projetos de rodovias. Na etapa de avaliação, o algoritmo foi testado pela equipe de especialistas. O algoritmo desenvolvido é composto pelos seguintes passos: (i) extração de dados de tipo, geometria e localização dos bueiros nas rodovias, a partir de documentos em formato PDF; (ii) inserção dos dados extraídos no software Autodesk Civil3D; (iii) verificação dos elementos pertinentes ao projeto; (iv) exportação das informações dos elementos de interesse para o Excel e (v) exportação dos dados da tabela do Excel para o Google Earth e o Qgis em formatos KMZ e KML. Os dados exportados foram enviados para a equipe de topografia, para validação e complemento das informações in loco.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CONSCIENTIZAÇÃO

Durante a etapa de estudo preliminar de projeto de drenagem de rodovia, é necessário buscar dados de identificação e de localização dos bueiros e inseri-los no software de projeto. No caso da BR-101/SC, havia cerca de 1200 documentos em formato PDF que apresentavam os dispositivos cadastrados na extensão total da rodovia. A Figura 1 mostra um exemplo de documento de cadastro de bueiro, com destaque para os dados de interesse dos projetistas: título do documento, tipo do dispositivo, dimensão e coordenadas de localização.

Figura 1 - Exemplo de documento de cadastro de bueiro



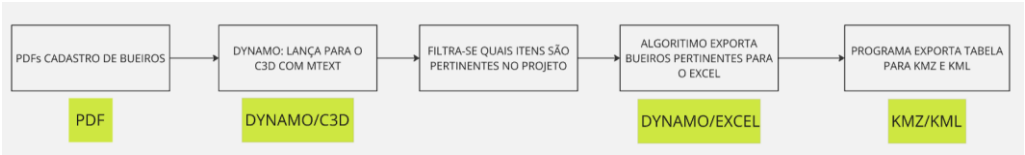
Fonte: os autores.

SUGESTÃO

Como sugestão, propôs-se a criação de um algoritmo com o objetivo de extrair informações de documentos em formato PDF dos dispositivos de drenagem e importá-las no software de projeto. Para tal, propôs-se o uso da programação visual no Dynamo, uma linguagem de código integrada ao Autodesk Civil 3D, para automatizar a extração e inserção de dados.

A sugestão de processo para automatizar o sistema de extração e inserção de dados de cadastros de bueiros segue o fluxo ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Fluxo da automatização do processo de extração e inserção de dados de cadastros de bueiros

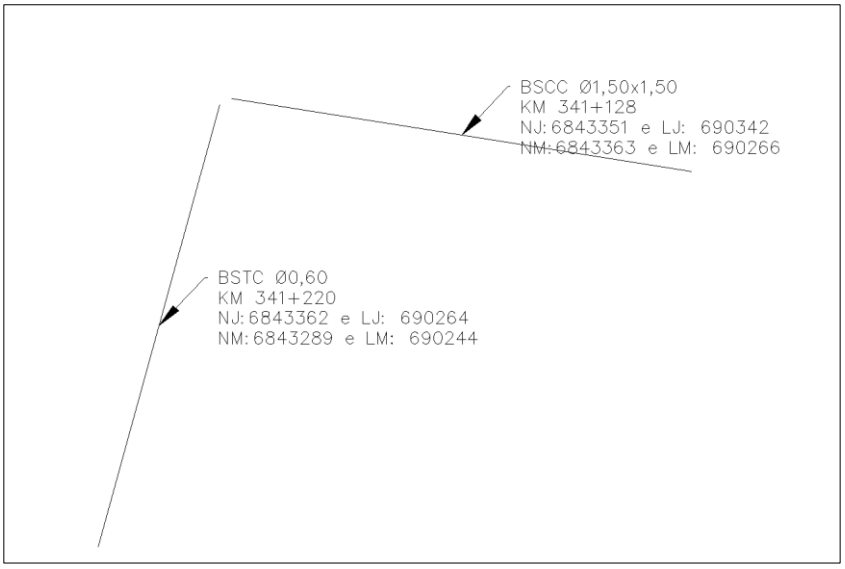


Fonte: os autores.

DESENVOLVIMENTO

O algoritmo foi desenvolvido com uso da linguagem de programação visual do Dynamo. Os dados dos documentos de cadastro de bueiros, em formato PDF, foram extraídos e inseridos no software Autodesk Civil 3D automaticamente. A Figura 3 mostra um exemplo da inserção das informações extraídas dos documentos para o projeto.

Figura 3 - Exemplo de inserção das informações dos bueiros no projeto



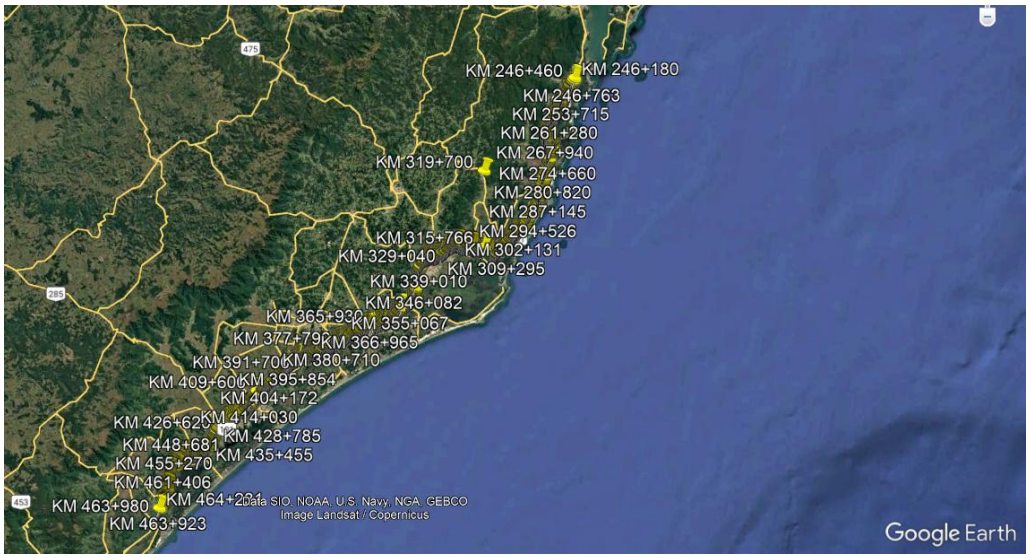
Fonte: os autores.

Uma das informações extraídas foram os dados relacionados à localização dos bueiros, estes foram utilizados para inserir os bueiros nas coordenadas corretas do projeto. Os outros dados de interesse, como tipo do dispositivo e dimensão, foram vinculados aos elementos representativos dos bueiros.

Após esse processo, os profissionais especialistas de drenagem localizaram os bueiros cadastrados relevantes para o escopo do projeto contratado. Esta seleção foi feita manualmente, a partir da visualização da localização dos bueiros no software de projeto.

Em seguida, o algoritmo desenvolvido exportou os dados relacionados aos bueiros de interesse para o projeto em uma tabela que, posteriormente, originou o arquivo KMZ/KML. A Figura 4 apresenta um exemplo dos dados dos cadastros de bueiros inseridos no Google Earth, em formato de arquivo KMZ. Este material é utilizado nas demais etapas do projeto.

Figura 4 - Exemplo dos dados de cadastros de bueiros, em formato de arquivo KMZ



Fonte: os autores.

Os principais produtos do algoritmo desenvolvido foram: um arquivo em formato dwg e um arquivo kmz/kml com todos os bueiros implantados. Tais produtos podem ser utilizados para inúmeras

aplicações, como para auxiliar na validação e verificação dos bueiros pela equipe de topografia em campo, e para auxiliar na análise preliminar do projeto de drenagem e hidrológico, com base nas informações extraídas dos documentos de cadastro de bueiros.

AVALIAÇÃO

A avaliação foi realizada por uma equipe de especialistas que testou o algoritmo em um trecho da rodovia BR-101/SC. Foram analisados a eficiência do processo, a precisão dos dados e o tempo economizado em relação ao método tradicional.

Os resultados obtidos demonstraram que o método automatizado para levantamento de dados foi significativamente mais eficiente do que o método tradicional. O tempo para extração de dados e inserção no Autodesk Civil 3D que era realizado em 40 horas foi reduzido para apenas 2 horas, trazendo um ganho substancial em aproximadamente 95%. Além disso, a exportação para formatos como KMZ facilitou a validação e complementação das informações in loco pela equipe de topografia.

Os principais benefícios observados incluem:

- Redução de erros: a extração automatizada eliminou a necessidade de digitação manual, reduzindo o risco de erros humanos;
- Eficiência: o tempo de processamento dos dados foi drasticamente reduzido, permitindo que a equipe se concentrasse em outras atividades importantes do projeto;
- Troca de informações: os dados extraídos puderam ser importados em diferentes softwares, como Google Earth e QGIS, ampliando sua aplicabilidade, como estudos hidrológicos e demais subprodutos.

CONCLUSÃO

Este estudo apresentou um algoritmo desenvolvido para automatizar a extração de dados a partir de documentos e a inserção destes dados em software de projeto. A implementação do algoritmo desenvolvido em um projeto específico auxiliou na redução do tempo dos seguintes processos: na extração das informações, na concepção de projeto e no envio de informações para o campo.

A automatização do levantamento de dados em projetos de drenagem rodoviária, utilizando softwares BIM e programação visual, mostrou-se uma solução eficaz para aumentar a produtividade e eficiência da equipe de desenvolvimento de projetos, e trouxe uma redução de 95% do tempo demandado para conclusão da tarefa, permitindo, assim, a concentração de esforços em outras demandas.

A drenagem é uma disciplina fundamental no setor da infraestrutura rodoviária, que desempenha um papel crucial na manutenção da segurança, durabilidade e funcionalidade das estradas. A correta gestão dos recursos hídricos é vital para prevenir danos, garantir a eficiência do tráfego e proteger o meio ambiente. Dessa forma, precisão e eficiência nos projetos de drenagem são extremamente necessários.

Os resultados da avaliação indicaram que o algoritmo desenvolvido foi extremamente eficaz em reduzir o tempo de extração de dados e a inserção no software de projeto. Além disso, a automação auxiliou em diferentes etapas do projeto, bem como, possibilitou verificar os materiais enviados pela concessionaria com mais rapidez e precisão, diminuiu a possibilidade de erros dos materiais desenvolvidos e facilitou o trabalho em campo da equipe de topografia.

O método desenvolvido e aplicado neste projeto específico, pode ser replicado em outros projetos que necessitem da extração de dados a partir de documentos e da reutilização dessas informações em diferentes tipos de softwares para projetos. A automatização de tarefas repetitivas durante a etapa projetual reduz tempo, custos e erros, aumentando a confiabilidade de projeto, a precisão dos dados e o desempenho da equipe.

Além disso nota-se que o trabalho tem grande potencial de aplicação e replicação em outras áreas e setores de infraestrutura, como disciplinas de saneamento, sinalização viária, cadastros de redes elétricas, geotecnia para o caso de sondagem e telecomunicações. Evidenciando ainda mais o grau de complexidade e importância do estudo realizado.

REFERÊNCIAS

[1] PAGLIUCA, C. A. et al. Financiamento sustentável da infraestrutura econômica e social na América Latina e no Caribe: tendências, agentes e instrumentos. Brasília ed. [s.l.] BID, 2022.

[2] BRASIL. Decreto no 11.888, de 22 de janeiro de 2024. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2024.

[3] KIM, Y.; CHIN, S.; CHOO, S. *Rule-based automation algorithm for generating 2D deliverables from BIM. Journal of Building Engineering*, v. 97, p. 111033, 15 nov. 2024.

[4] HUANG, H. et al. *Parameterized modeling and safety simulation of shield tunnel based on BIM-FEM automation framework. Automation in Construction*, v. 162, p. 105362, 1 jun. 2024.

[5] FISCHER, S. et al. *Automation of escape route analysis for BIM-based building code checking. Automation in Construction*, v. 156, p. 105092, 1 dez. 2023.

[6] BOURAHLA, N. et al. *Intelligent automation and optimization of reinforced concrete dual systems for earthquake resisting buildings in a BIM environment. Journal of Building Engineering*, v. 76, p. 107111, 1 out. 2023.

[7] LUNKES STRIEDER, H.; SCHREINERT, G. Metodologia BIM em obras de infraestrutura: uma revisão sistemática. 18 ago. 2022.

[8] LACERDA, D. P. et al. Design Science Research : método de pesquisa para a engenharia de produção. Gestão & Produção, v. 20, p. 741–761, 2013.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Critérios para a verificação de projetos públicos em BIM: diretrizes e desafios

Criteria for verifying public projects in BIM: guidelines and challenges

Carlos Eduardo Gomes Carneiro | Universidade Presbiteriana Mackenzie | carquiteto@gmail.com
0009-0000-9130-3653

Eduardo Ribeiro dos Santos | Universidade Federal do Rio de Janeiro | eduardo@d5cursos.com.br
0000-0002-0427-5891

DOI: 10.5281/zenodo.14474863

Resumo

A Modelagem da Informação da Construção, conhecida também como BIM, começa a ganhar maior adesão em sua adoção pelo setor da construção civil (órgãos públicos e empresas privadas) a partir da necessidade de se utilizar a referida metodologia. Esta necessidade é motivada principalmente após entrar em vigor a lei Nº 14.133, de 1º de abril de 2021, que dá preferência às empresas concorrentes que utilizam BIM nas licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura realizadas por secretarias, governos, prefeituras entre outras instituições que utilizam recursos públicos. Outro fator importante a ser considerado, são os investimentos realizados pelo governo federal através do Novo Programa de Aceleração do Crescimento, conhecido como Novo PAC. Este programa representa um investimento aproximado de 65,2 bilhões de reais. Somente para o Ministério da Educação, via FNDE, está prevista a construção de 685 novas escolas de tempo integral, 1.178 creches e escolas de educação infantil, entre outras edificações públicas. A possibilidade de impacto destas obras é expressiva, considerando que será aplicado em mais de 1500 municípios. Diante do exposto, os entes públicos municipal, estadual e federal contratantes carecem de métodos para o corpo técnico realizar a verificação e validação dos modelos entregues em BIM. Esta verificação visa garantir a qualidade dos serviços prestados pelo contratado. Este trabalho é parte inicial de uma pesquisa de mestrado que visa propor critérios e diretrizes mínimas de análise e verificação de modelos de projetos em BIM para o poder público, sendo este um norteador para que as entidades públicas contratantes de obras e serviços de engenharia e arquitetura em BIM possam receber, analisar e verificar os serviços contratados. Para isso, inicialmente foram considerados e apreciados os requisitos de informações para a verificação de projetos já existentes. Tomou-se como referência os requisitos para a análise e verificação das informações de projetos já publicados nacionalmente. Estes requisitos foram examinados com o objetivo de identificar e apontar possíveis ajustes para a adequação de um processo em BIM em um contexto da esfera pública. Dentre os resultados encontrados, destacam-se a falta de uma orientação objetiva para adequar o processo de projeto considerando a inclusão das questões referentes às demandas BIM, como a necessidade de outros atores para a gestão da informação e compatibilização através de modelos informacionais, assim como o apontamento dos níveis de informação necessários para o desenvolvimento do projeto e a indicação da classificação de forma correta dos elementos do modelo de acordo com as classes apontadas pela ABNT NBR ISO 16739-1:2023. Este trabalho visa contribuir para a melhoria da qualidade da informação na entrega de projetos contratados pelos entes públicos, seguindo orientações normativas e práticas recomendadas em sua maioria existentes e publicadas. Pretende ainda destacar os pontos a serem melhorados na definição de requisitos objetivos de modelagem de informação para a indústria da construção civil e contribuir com cenários que favoreçam a prática colaborativa efetiva entre os atores. Por fim, pretendemos obter

elementos que confirmem ou não que projetos padronizados e elaborados em BIM são capazes de alcançar os objetivos de melhorias na transparência, interoperabilidade, comunicação e redução de prazo de entrega.

Palavras-chave: Modelagem da informação da Construção. BIM. Análise de projetos. Gestão da informação. Requisitos de projeto. Novo PAC.

Abstract

Building Information Modeling, also known as BIM, is starting to gain greater adoption in the construction sector (public agencies and private companies) due to the necessity of using this methodology. This necessity is mainly driven by the enactment of Law No. 14,133, of April 1, 2021, which gives preference to competing companies that use BIM in bids for construction and engineering services conducted by secretariats, governments, municipalities, and other institutions that use public resources. Another important factor to consider is the investments made by the federal government through the New Growth Acceleration Program, known as Novo PAC. This program represents an approximate investment of 30 billion reais. For the Ministry of Education alone, via FNDE, the construction of 685 new full-time schools, 1,178 daycare centers, and early childhood education schools, among other public buildings, is planned. The potential impact of these works is significant, considering that it will be applied in more than 1,500 municipalities. Given this context, municipal, state, and federal public entities lack methods for the technical staff to verify and validate the models delivered in BIM. This verification aims to ensure the quality of the services provided by the contractor. This work is the initial part of a master's research that aims to propose minimum criteria and guidelines for the analysis and verification of BIM project models for the public sector, serving as a guide for public entities contracting BIM construction and engineering services to receive, analyze, and verify the contracted services. To this end, the information requirements for the verification of existing projects were initially considered and appreciated. The requirements for the analysis and verification of project information already published nationally were taken as a reference. These requirements were examined to identify and point out possible adjustments for the adequacy of a BIM process in a public sphere context. Among the results found, the lack of objective guidance to adapt the project process considering the inclusion of issues related to BIM demands, such as the need for other actors for information management and compatibility through informational models, as well as the indication of the necessary information levels for project development and the correct classification of model elements according to the classes indicated by ABNT NBR ISO 16739-1:2023, stands out. This work aims to contribute to improving the quality of information in the delivery of projects contracted by public entities, following normative guidelines and recommended practices mostly existing and published. It also intends to highlight the points to be improved in defining objective information modeling requirements for the construction industry and contribute to scenarios that favor effective collaborative practice among actors. Finally, we aim to obtain elements that confirm whether or not that standardized projects developed in BIM can achieve the objectives of improvements in transparency, interoperability, communication, and reduction of delivery time.

Keywords: Building Information Modeling. BIM. Project analysis. Information management. Project requirements. Novo PAC.

INTRODUÇÃO

A Modelagem da Informação da Construção (BIM) começou a ser adotada intensamente a partir dos anos 2000, apesar de seus conceitos existirem desde a década de 60 [1]. Nos EUA, o uso de BIM tornou-se obrigatório em todos os projetos da General Services Administration (GSA) desde 2003. Singapura implementou o sistema CORENET em 2008, e o Reino Unido passou a exigir BIM em projetos públicos desde 2016. Na Noruega, BIM é obrigatório para obras municipais e estaduais desde 2012, e no Chile, desde 2011, é exigido em licitações de projetos hospitalares. No Brasil, iniciativas realizadas a partir de 2014 para adoção de BIM, incluem a criação de grupos técnicos e a publicação de manuais em estados como Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Ceará [2]. No âmbito federal, podemos destacar a publicação da estratégia BIM BR Instituída pelo Decreto nº 11.888, de 22/01/2024 [3] e a lei Nº 14.133, de 1º de abril de 2021, que estabelece normas gerais de licitação e contratação para as Administrações Públicas onde as licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura, devem dar preferência a adoção do BIM [4].

Desde agosto de 2023, o Governo Federal estabeleceu o Novo PAC (Programa de Aceleração do Crescimento). Com este programa, o governo brasileiro visa não somente modernizar, mas também expandir a infraestrutura do país através da construção de escolas, creches, hospitais, estradas, ferrovias e outras obras públicas. Na primeira etapa estão previstos investimentos de 65,2 bilhões de reais [5]. Especificamente para o Ministério da Educação, através do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), está prevista a construção de 685 novas escolas de tempo integral, 1.178 creches e escolas de educação infantil, entre outras edificações públicas em mais de 1.500 municípios. É importante ressaltar que o BIM deverá ser utilizado em parte ou em todo o acervo projetual para atender essa demanda.

Os recursos para o Novo PAC são em parte provenientes do Orçamento Geral da União (OGU) e integram o orçamento dos Ministérios, chamados unidades executoras. A operacionalização destes contratos é realizada pela Caixa Econômica Federal e a execução pelos entes federados, com recursos repassados por transferências obrigatórias. Diante disso, se faz necessário verificar se existem requisitos de informação suficientes para contratação de projetos em BIM, considerando o volume de recursos e a replicabilidade em escala nacional. Para isso, documentos publicados pelo setor público com o objetivo de orientar o desenvolvimento de projetos em BIM foram analisados. O resultado desta análise apresenta um conjunto de requisitos que devem ser observados em uma verificação e validação de um modelo.

METODOLOGIA

Segundo a ISO 19650-1 [6], requisito de informação trata da especificação para o quê, quando, como e para a quem a informação deve ser produzida. Os requisitos de informação são essenciais para que a gestão da informação ocorra de forma assertiva [7]. Para DJUKIC et al [8], a garantia da qualidade para a construção de um projeto utilizando BIM está relacionada diretamente com a utilização da informação de forma adequada. Para isso, a definição dos requisitos de informação passa a ser peça essencial no controle de qualidade.

Para o desenvolvimento do trabalho e levantamento dos requisitos já existentes, uma pesquisa utilizando motores de busca na internet foi realizada. Foram considerados os documentos cujos títulos continham os seguintes termos: Cadernos BIM, Manuais de Modelagem e BIM Mandate. A tabela 01, apresenta os documentos com seus respectivos anos de publicação e sua abrangência, se nacional, estadual e/ou municipal. Outro fator importante para a seleção do documento, é que ele tenha caráter de domínio público. O recorte temporal considerou os documentos publicados nos últimos 10 anos.

Tabela 01 - Documentos BIM analisados

	DOCUMENTO	ÓRGÃO	ANO	ABRAN-GÊNCIA
1	Caderno de apresentação de projetos em BIM [09]	Governo do Estado de Santa Catarina	2014	estadual
2	Projeto Básico e Manual Template [10] [11] [12]	Fundação para o Desenvolvimento da Educação - FDE	2016	estadual

3	Caderno de Especificações de Projetos em BIM [13]	Governo do Estado de Santa Catarina	2018	estadual
4	Caderno BIM - EDIF (11) [14]	Governo do Estado do Paraná	2018	estadual
5	Caderno de Projetos em BIM [15]	Prefeitura Municipal de São Paulo	2020	municipal
6	Caderno de Projetos e de Gestão de Edificações em BIM [16]	Ministério Público do Distrito Federal e Territórios - MPDFT	2020	estadual
7	Manual Bim para Desenvolvimento de Projetos de Urbanismo e Infraestrutura [17]	Secretaria de Estado de Obras e Infraestrutura do Distrito Federal	2020	estadual
8	Manual de Projetos Aeroportuários [18]	Secretaria Nacional de Aviação Civil	2021	nacional
9	Manual de Modelagem BIM - BIM Mandate [19]	Ministério da Defesa - Comando da Aeronáutica	2021	nacional
10	Caderno de Projetos em BIM: 2a edição [20]	Prefeitura Municipal de São Paulo	2022	municipal
11	Caderno de Modelagem BIM: Projetos de HIS (Habitação de Interesse Social) [21]	Prefeitura Municipal de São Paulo	2022	municipal
12	Instrumentos de Padronização dos Procedimentos de Contratação de Obras e Serviços Públicos [22]	Advocacia-Geral da União. Ministério da Gestão e Inovação em Serviços Públicos	2023	nacional
13	Caderno BIM (11) [23]	Governo do Estado do Paraná	2023	estadual
14	Manual BIM de Projetos Ferroviários da INFRA S.A. [24]	INFRA S.A.	2023	nacional

Fonte: Autores (2024)

Após o levantamento e leitura dos documentos, foram estabelecidas as seguintes categorias: Requisitos de informação, Usos BIM, Colaboração, Diretrizes de Modelagem, Normas, Processos de Controle e Qualidade. Estas categorias têm como objetivo agrupar os termos em comum apontados nos documentos e com isso indicar a incidência dos respectivos termos. Posteriormente, o levantamento foi tabulado utilizando planilha eletrônica e por fim, uma análise comparativa e qualitativa por grupo foi realizada, baseada na presença ou não do termo no documento. Não foram analisados se os termos fazem ou não parte dos processos indicados pelos guias e cadernos.

RESULTADOS

Ao final da análise dos documentos citados, 59 termos foram selecionados. O resultado é apresentado na tabela 02:

Tabela 02 - Requisitos segundo documentos analisados

		Documentos analisados													
Requisitos apontados nos documentos		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1.	**REQUISITOS DE INFORMAÇÃO**														
1.1.	Requisitos de Informação da Organização	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	S
1.2.	Requisitos de Informação de Ativos	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	S
1.3.	Requisitos de informação do Projeto	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	S
1.4.	Requisitos de Troca de Informação	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	S
1.5.	Requisitos de Informação de Segurança	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S
1.6.	Project Information Standard	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S
1.7.	Project Information Protocol	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S
1.8.	Plano de Execução BIM	N	N	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S	N	S
1.9.	Plano Mestre de Entrega de Informações	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S
1.10.	Plano de Entrega de Tarefas	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S
1.11.	Estrutura da Organização da Informação	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2	**USO BIM**														
2.1	BIM Energy Modelling (BEM)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N
2.2	Extração Quantitativo e Orçamento	S	N	S	S	S	N	N	S	N	S	N	S	S	S
2.3	Compatibilização	S	N	S	S	S	S	N	S	N	S	S	S	S	S
2.4	Coordenação de Projetos	S	N	S	S	S	N	S	N	N	S	N	S	S	S
2.5	Gestão de Facilities	N	N	N	S	N	N	N	N	N	S	N	N	N	S
2.6	Levantamento automatizado	S	N	S	S	N	N	N	S	N	S	N	S	S	S
3	**COLABORAÇÃO**														
3.1	CDE	N	N	N	N	S	S	S	S	N	S	S	S	S	S
3.2	BCF	N	N	N	S	S	S	S	N	N	S	N	S	N	S
3.3	NOMENCLATURA	S	N	S	N	S	S	S	S	N	S	N	S	S	S
3.4	Padrões abertos	S	N	S	S	S	S	S	S	N	S	N	S	S	S
3.5	Formatos nativos	S	S	S	S	S	S	N	S	N	S	N	S	S	S
3.6	IFC	S	N	S	S	S	S	S	S	N	S	N	S	S	S
3.7	Versões IFC	S	N	S	S	S	S	N	S	N	S	N	S	S	S

4	**DIRETRIZ DE MODELAGEM**														
4.1	Classificação alfanumérica	S	N	S	S	N	N	N	N	N	S	N	S	S	S
4.2	Sistema de classificação	S	N	S	S	S	N	N	N	N	S	N	S	S	S
4.3	NBR 15965	S	N	S	S	N	N	N	N	N	S	N	S	S	S
4.4	COBIE	S	N	N	S	N	N	N	N	N	S	N	S	S	S
4.5	OMNICLASS	S	N	S	S	N	N	N	N	N	S	N	N	N	S
4.6	Classificação do próprio do órgão	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S
4.7	SINAPI	S	N	S	N	N	N	N	N	S	S	N	S	N	S
4.8	Unidades	S	N	S	S	S	N	N	S	N	S	N	S	S	N
4.9	Ponto de referência	S	N	S	S	N	N	N	S	N	S	S	S	S	S
4.10	Local da obra	S	N	S	N	N	N	N	S	N	S	S	S	S	N
4.11	Edifícios	S	N	S	N	N	N	N	S	N	N	N	S	N	N
4.12	Pavimentos de edifícios	S	N	S	N	N	N	N	S	N	N	N	N	S	N
4.13	Espaços	S	N	S	S	N	N	N	S	N	S	N	S	N	N
4.14	Espaços áreas brutas	S	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
4.15	IfcSystem - sistemas discriminados	S	N	S	N	N	N	N	S	N	S	N	S	S	N
4.16	Propriedades por elemento	S	N	S	S	N	S	N	S	N	S	N	N	S	N
4.17	Mapeamento IFC	N	N	N	S	N	N	N	S	N	S	N	S	S	N
4.18	Sistema de Georreferenciamento	S	N	S	N	N	S	N	S	N	S	S	S	S	S
4.19	Elementos paramétricos	S	N	S	N	N	N	N	S	N	N	N	N	S	S
4.20	Terreno / Topografia	N	N	N	S	S	S	N	S	N	S	S	S	S	S
4.21	Canteiro	N	N	N	S	S	N	N	N	N	S	N	S	N	N
4.22	LOD / ND	S	N	S	S	N	N	N	N	N	S	N	S	S	S
4.23	LOIN / LOI	N	N	N	S	S	N	N	N	N	S	N	S	S	N
5	**NORMAS**														
5.1	16739 - IFC	S	N	S	S	N	S	N	S	N	S	N	N	S	S
5.2	15965 - Sistema de Classificação	S	N	S	S	S	N	S	S	N	S	N	S	S	S
5.3	12006-2 - Estrutura para Classificação de Informação	S	N	S	S	S	N	N	N	N	N	N	S	S	N
5.4	19650 - Organização da informação acerca de trabalhos da construção	N	N	N	N	S	N	N	S	N	S	N	S	N	S

5.5	BS 1192 - Collaborative production of architectural, engineering and construction information – Code of practice	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N
6	**PROCESSOS E CONTROLE DE QUALIDADE**															
6.1	MARCOS DE ENTREGA	N	N	S	N	N	N	S	S	N	S	N	S	N	S
6.2	FASE DE PROJETO DISCRIMINADA	S	N	S	S	S	N	N	N	N	S	N	S	N	S
6.3	MVD	N	N	S	N	N	S	N	S	N	S	N	N	N	N
6.4	IDS	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
6.5	FEDERAÇÃO	S	N	S	S	S	S	N	S	N	S	S	S	S	S
6.6	MD E MODELO BIM	S	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	N	S	N
6.7	SIG	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N

Legenda: S = manual/guia contém a informação N = não contém a informação

Fonte: Autores (2024)

Conforme mostra a tabela 02, o termo PEB é o mais difundido entre os documentos, às vezes incorporados no próprio manual, outras remetidos a um produto que será elaborado pelo contratado. Os termos da ISO 19650 estão presentes em apenas dois manuais. O termo Requisito de Segurança da Informação é apresentado em apenas um manual, sendo que Segurança de Informação é composta por uma série de requisitos específicos [25].

Os usos mais citados são Compatibilização, Extração de quantitativos e levantamento automatizado. Somente o MPDFT menciona o termo BEM (BIM Energy Modelling) em relação à "sustentabilidade", ainda que de forma genérica. Não encontramos no material analisado requisitos referentes à análise energética especificamente.

Chama a atenção que os Cadernos do Governo do DF e do FDE não mencionam o termo IFC e, metade dos que citam, não especificam a versão ou versões de IFC requeridas, além de não mencionarem CDE (ambiente comum de dados) e BCF (*BIM Collaboration Format*).

Para os procedimentos de compatibilização de disciplinas de projeto, não foram encontradas definições dos formatos de arquivos para a federação dos modelos BIM.

O termo LOD (nível de detalhamento) cai em desuso conforme avançamos cronologicamente. Em contrapartida, os cadernos de 2020 a 2023 utilizam a expressão LOIN e dedicam boa parte do conteúdo aos requisitos de informação do modelo.

Nem todos os guias vinculam que as informações do Memorial Descritivo ou de Orçamento sejam aquelas obtidas ou compatibilizadas com o modelo. Não há padronização sobre a necessidade de informações em 2D.

O Manual SEHAB HIS orienta a subdivisão dos modelos por disciplinas de projeto em áreas condominiais e da edificação, e destaca a criação de um objeto tridimensional que representa o local da coordenada geográfica do projeto.

O surgimento de cadernos BIM específicos para infraestrutura, como os do Governo do Paraná e da Infraero, acompanham a publicação do IFC 4.3.

CONCLUSÃO

Os projetos do Novo PAC representam uma oportunidade para que as instituições públicas estudem e definam o conjunto de informações necessárias para contratos públicos. Foi observado que os cadernos estudados até a publicação deste artigo, não apresentam padronização em relação a um conteúdo mínimo para um manual ou guia BIM. Parte deles dedica a introdução a explicar detalhadamente conceitos, havendo ainda uma discrepância na compreensão do que consistem os requisitos para projetos em BIM, gerais e específicos. Com isso, o entendimento de onde as informações de apoio (anexos) devem ser apresentados, principalmente em relação ao BEP, são distintas e não objetivas.

Em relação à abrangência dos conteúdos dos documentos, esta é diretamente afetada por políticas nacionais, publicações de normas, novos padrões interoperáveis, refletindo a importância dessas ações e a necessidade de atualização constante dos manuais.

Nenhum dos documentos faz referência ao *buildingSMART* Data Dictionary (bsDD). A aplicação do bsDD deve ser incentivada para o correto emprego da classificação IFC dos elementos pertencentes ao modelo BIM. Com isso, a mesma referência de dados é utilizada pelas partes envolvidas promovendo uma maior colaboração e eficiência nos processos da indústria da construção.

A padronização da informação e a definição de requisitos em contratos BIM para todos os órgãos governamentais está em desenvolvimento. Os cadernos/guias a serem publicados podem conter um escopo mínimo de informação mais uniforme e orientativo, com anexos para temas específicos ou tabelas, facilitando a leitura e consulta.

Para alcançar a padronização de requisitos mínimos no governo, é necessário que os documentos de contratação, guias e manuais façam referência ao Sistema de Classificação, mesmo que em níveis macro. O uso de padrões abertos pode ajudar nesta padronização, como IFC ou BCF.

O IDS pode ser mais bem estudado e promovido pelos governos, tornando-se um padrão estratégico de arquivo de referência, para uma primeira validação pelos analistas ou de forma automatizada.

É importante que os órgãos contratantes tenham estruturas uniformes para armazenamento e nomenclatura de dados e que iniciem procedimentos relacionados à segurança dos dados.

Vale ressaltar que esta pesquisa não tem a ambição de cobrir todas as publicações nacionais de guias e cadernos BIM. Com os resultados obtidos, esperamos ter contribuído com um diagnóstico resumido de conteúdos que servem de referência para a produção de materiais mais recentes, identificando os conjuntos de elementos presentes em cada um deles.

REFERÊNCIAS

[1] GASPAR, J. A. D. M. O significado atribuído a BIM ao longo do tempo. 238f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Universidade de Campinas, Campinas-SP, 2019.

[2] SANTOS, E. R. Adoção da Plataforma BIM no processo de aprovação de projetos de edificações: desafios e possibilidades. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) UFRJ/PROARQ, 2018.

[3] BRASIL. Decreto nº 11.888, de 22 de janeiro de 2024. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil - Estratégia BIM BR e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling - BIM BR. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/Decreto/D11888.htm>. Acesso em: 16/10/2024.

[4] BRASIL. Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/l14133.htm>. Acesso em: 16/10/2024.

[5] BRASIL. Novo PAC Seleções vai investir R$ 65,2 bilhões em estados e municípios. Portal do Planalto, 19 de setembro de 2023. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/l14133.htm>. Acesso em: 16/10/2024.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 19650-1: Organização da informação acerca de trabalhos da construção - Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção - Parte 1: Conceitos e princípios. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2022.

[7] RIBEIRO, T. R. et al. Compreensão dos requisitos de informação da ISO 19650. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, v. 3, p. 1-13, 2021.

[8] DJUKIC, A.; CAIRES, B.; LINO, J. C. Definição e controlo dos requisitos de informação BIM. 5º CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING. UMinho Editora, 2024.

[9] SANTA CATARINA, Secretaria de Estado do Planejamento. Instruções para elaboração de projetos Arquitetônicos de Edificação. 2014.

[10] SÃO PAULO. Fundação para o Desenvolvimento da Educação - FDE. Projeto Básico. São Paulo, 2016.

[11] SÃO PAULO. Fundação para o Desenvolvimento da Educação - FDE. Manual Template. São Paulo, 2016.

[12] SÃO PAULO. Fundação para o Desenvolvimento da Educação - FDE. Relatório do Grupo de Trabalho Relativo a Tecnologia BIM GT BIM. São Paulo, 2017.

[13] SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Planejamento. Caderno de Especificações de Projetos em BIM, Versão 2.0, 2018

[14] PARANÁ. Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística. Caderno BIM: Coletânea de Cadernos Orientadores, Curitiba: SEIL/PR, 2018.

[15] SECRETARIA MUNICIPAL DE HABITAÇÃO DE SÃO PAULO. Caderno de Projetos em BIM. São Paulo: KPMO Cultura e Arte, 2020.

[16] MINISTÉRIO PÚBLICO DO DISTRITO FEDERAL E TERRITÓRIOS - MPDFT. Caderno de Projetos e de Gestão de Edificações em BIM. Brasília, DF, 2020.

[17] DISTRITO FEDERAL. Secretaria de Estado de Obras e Infraestrutura. Manual BIM para Desenvolvimento de Projetos de Urbanismo e Infraestrutura, Brasília, DF, 2020.

[18] BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Manual de projetos aeroportuários [livro eletrônico]: volume único / [organização Marcio Maffili Fernandes, Leila Cristina Miateli Pires, Adriana Lima Rolim; ilustração Gabriel Córdova]. 1. ed. Brasília, DF: Secretaria Nacional de Aviação Civil, 2021.

[19] BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Modelagem de Informação da Construção. Manual de Modelagem BIM - BIM Mandate, 2021.

[20] SECRETARIA MUNICIPAL DE HABITAÇÃO DE SÃO PAULO; CONSÓRCIO SLP – S2. Caderno de Projetos em BIM. São Paulo: [s.n.], 2022.

[21] SECRETARIA MUNICIPAL DE HABITAÇÃO DE SÃO PAULO; CONSÓRCIO SLP – S2. Caderno de Modelagem BIM: Projetos de HIS. São Paulo: [s.n.], 2022.

[22] BRASIL. Advocacia-Geral da União. Ministério da Gestão e Inovação em Serviços Públicos. Instrumento de Padronização dos Procedimentos de Contratação de Obras e Serviços de Engenharia – Brasília. Advocacia-Geral da União. Ministério da Gestão e Inovação em Serviços Públicos, 2023.

[23] PARANÁ. Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística. Caderno BIM: Coletânea de Cadernos Orientadores, Curitiba: SEIL/PR, 2023.

[24] BRASIL. Ministério dos Transportes. Manual BIM da Infra S.A. - Projetos Ferroviários. Brasília, DF, 2023.

[25] SANTOS, E. R. Implantação da modelagem da informação da construção (BIM) em escritórios de arquitetura sob a ótica da gestão e segurança da informação. Tese de doutorado. FAU/UFRJ/PROARQ, Rio de Janeiro, 2024.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Desafios e soluções na implementação do BIM-FM – análise dos obstáculos e propostas para melhoria da eficiência

Challenges and solutions in BIM-FM implementation – analysis of obstacles and proposals for improving efficiency

Rafael Barbosa Otranto | Instituto Militar de Engenharia | rafael.otranto@ime.eb.br | 0009-0001-5975-0223
Otto Araujo Nielsen | Instituto Militar de Engenharia| nielsen.otto@ime.eb.br | 0009-0000-9776-7053
Giuseppe Miceli Junior | Instituto Militar de Engenharia| giuseppe.miceli@ime.eb.br | 0000-0002-2569-2627
Paulo Cesar Pellanda | Instituto Militar de Engenharia| pellanda@ime.eb.br | 0000-0002-4505-2838

DOI: 10.5281/zenodo.14474919

Resumo

O gerenciamento de instalações (*Facility Management* - FM) tem como função integrar pessoas, propriedades e processos no ambiente construído, buscando melhorar a qualidade de vida e otimizar a produtividade do negócio principal. A eficácia do FM depende diretamente da qualidade e confiabilidade das informações sobre os ativos gerenciados. Quando esses dados são imprecisos ou incompletos, o risco de perda de informações importantes aumenta, levando a retrabalhos, custos adicionais e redução da produtividade das equipes operacionais, comprometendo o desempenho geral do FM. Nesse contexto, o *Building Information Modeling* (BIM) surge como uma solução eficaz para apoiar o FM, pois centraliza todas as informações da construção em um modelo digital estruturado, facilitando a gestão ao longo do ciclo de vida dos edifícios ao integrar dados de projeto, construção e operação. Entretanto, a implementação completa do BIM para suporte ao FM (BIM-FM) ainda enfrenta desafios consideráveis, como a falta de precisão e completude dos modelos *as-built* entregues ao final da fase de construção, além de problemas de interoperabilidade entre esses modelos e os sistemas de gerenciamento de *facilities*. Essas lacunas afetam a eficiência do processo BIM-FM e a confiabilidade das informações, impactando negativamente a operação e manutenção das edificações. Para lidar com esses obstáculos, este artigo propõe uma solução integrada que visa mitigar a perda de informações na transição entre as fases de construção e operação. A proposta é baseada na adoção de soluções interoperáveis, utilizando padrões abertos de dados, conhecidos como *openBIM*, que empregam o formato *Industry Foundation Classes* (IFC). O uso de *openBIM* garante a flexibilidade e acessibilidade dos dados em diversas plataformas, facilitando a integração e a continuidade das informações durante o ciclo de vida do edifício. Dessa forma, busca-se assegurar a atualização contínua dos dados e melhorar a confiabilidade e precisão das informações utilizadas pelas equipes de FM. O método de pesquisa adotado foi o da *Design Science Research* (DSR), e três artefatos foram desenvolvidos para implementar a solução proposta: (1) uma plataforma web para o registro e gestão dos ativos, que centraliza as informações e facilita a atualização contínua dos dados ao longo das fases de construção e comissionamento; (2) uma API REST para garantir a interoperabilidade entre a plataforma web e outros sistemas, facilitando a integração e troca de dados entre diferentes ferramentas de gerenciamento de *facilities*; e (3) um *add-on* para o software Blender, que permite a criação e envio de informações diretamente entre o modelo BIM e a plataforma web, assegurando um fluxo bidirecional de dados. A fim de validar os artefatos desenvolvidos, foi realizado um

estudo de caso em um escritório de pequeno porte, focado na gestão das informações de um grupo de ativos, como aparelhos de ar-condicionado. Durante o estudo de caso, as informações dos ativos foram complementadas e sincronizadas entre o modelo BIM e a plataforma web utilizando o *add-on* desenvolvido, garantindo a atualização contínua e a confiabilidade dos dados. Os resultados demonstraram a eficácia dos artefatos na melhoria da gestão de informações de ativos, permitindo que os modelos BIM sejam entregues de maneira mais precisa e completa para a fase operacional. A principal contribuição deste estudo está no desenvolvimento de uma solução prática e inovadora para a integração de BIM-FM, que aborda os principais desafios de interoperabilidade e confiabilidade dos dados.

Palavras-chave: BIM. *Facility Management*. Gestão de Ativos. Interoperabilidade. IFC.

Abstract

Facility Management (FM) is responsible for integrating people, properties, and processes within the built environment, aiming to improve quality of life and optimize the productivity of the core business. The effectiveness of FM is directly linked to the quality and reliability of the information about the managed assets. When this data is inaccurate or incomplete, the risk of losing important information increases, leading to rework, additional costs, and reduced productivity of operational teams, ultimately compromising the overall performance of FM. In this context, Building Information Modeling (BIM) emerges as an effective solution to support FM by centralizing all construction information into a structured digital model. This facilitates management throughout the building lifecycle by integrating data from the design, construction, and operation phases. However, the full implementation of BIM to support FM (BIM-FM) still faces significant challenges, such as the lack of accuracy and completeness of the as-built models delivered at the end of the construction phase, and issues with interoperability between these BIM models and Facility Management systems. These gaps negatively affect the efficiency of the BIM-FM process and the reliability of the available information, impacting building operations and maintenance. To address these obstacles, this article proposes an integrated solution aimed at mitigating the loss of information during the transition between construction and operation phases. The proposal is based on adopting interoperable solutions using open data standards, known as openBIM, which employ the Industry Foundation Classes (IFC) format. The use of openBIM ensures data flexibility and accessibility across various platforms, facilitating the integration and continuity of information throughout the building's lifecycle. In this way, the continuous updating of data is ensured, improving the reliability and accuracy of the information used by FM teams. The research method adopted was Design Science Research (DSR), and three artifacts were developed to implement the proposed solution: (1) a web platform for asset registration and management, which centralizes information and facilitates the continuous updating of data throughout the construction and commissioning phases; (2) a REST API to ensure interoperability between the web platform and other systems, enabling the integration and exchange of data across different Facility Management tools; and (3) an add-on for the Blender software, which allows the creation and exchange of information directly between the BIM model and the web platform, ensuring a bidirectional flow of data. To validate the developed artifacts, a case study was conducted in a small office, focusing on managing information for a group of assets, such as air conditioning units. During the case study, asset information was complemented and synchronized between the BIM model and the web platform using the developed add-on, ensuring continuous updates and data reliability. The results demonstrated the effectiveness of the artifacts in improving asset information management, allowing BIM models to be delivered in a more accurate and complete manner for the operational phase. The main contribution of this study lies in the development of a practical and innovative solution for BIM-FM integration, addressing the key challenges of data interoperability and reliability. The use of openBIM-based technologies, combined with tools that facilitate the continuous updating of BIM models, offers an effective alternative for the construction industry to improve asset management throughout the lifecycle of buildings, ensuring greater sustainability and efficiency.

Keywords: BIM. Facility Management. Asset management. Interoperability. IFC.

INTRODUÇÃO

Ao analisar o ciclo de vida de uma edificação, a fase de operação e manutenção se destaca como a mais prolongada e onerosa, correspondendo a aproximadamente dois terços dos custos totais [1].

Nesse contexto, a adoção de tecnologias e processos voltados à redução de despesas e que assegurem uma transmissão eficiente de informações ao longo do tempo deve concentrar-se nessa fase [2][3].

Dentre as tecnologias mais recentes no setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), o *Building Information Modeling* (BIM) tem se consolidado como uma ferramenta de destaque na gestão de projetos e na execução de obras [4]. Contudo, sua aplicação durante a fase de operação, sobretudo quando integrada a *software* de *Facility Management* (FM), ainda enfrenta desafios, como a falta de interoperabilidade e a ausência de padrões uniformes [5][6].

A incompatibilidade entre os sistemas utilizados nas fases de construção e operação frequentemente gera perda de dados essenciais e retrabalho. Ademais, a diversidade de *software* adotados agrava esse problema, dificultando a integração e comprometendo a eficiência das tecnologias digitais na gestão de instalações [7][8]. Além disso, a escassez de estudos práticos que abordem a transferência de informações durante a transição entre essas fases ressalta a carência de soluções eficazes [9][10].

A adoção de padrões abertos, como o *openBIM*, surge como uma solução para os desafios de interoperabilidade. Esses padrões utilizam formatos de dados abertos e não proprietários, garantindo a flexibilidade e o acesso às informações em diversas plataformas, além de favorecer uma gestão mais eficiente dos ativos [11][8].

Diante dessas dificuldades, este trabalho propõe uma solução com o objetivo de mitigar a perda de informações na transição entre as fases de construção e operação. A proposta é fornecer um modelo BIM adequado para iniciar a fase de gerenciamento, viabilizando o atingimento do nível de informação necessária e a confiabilidade dos dados. A solução é composta por um conjunto de artefatos que incluem uma plataforma *web* para centralizar e gerenciar os dados dos ativos, uma API para facilitar a troca de informações entre sistemas, e um *add-on* para o Blender, garantindo a interoperabilidade e a atualização contínua dos dados.

REVISÃO DA LITERATURA

Estudos como os de [12], [13], [14] apontam que, embora o BIM seja amplamente adotado nas fases de projeto e construção, sua aplicação no gerenciamento de *facilities* ainda enfrenta desafios significativos.

Um dos principais desafios na aplicação do BIM na fase operacional reside na necessidade de adaptar os modelos desenvolvidos durante a fase de construção, cujos dados frequentemente não atendem às exigências da gestão de ativos. Esse problema é amplamente atribuído à falta de especificações adequadas por parte dos proprietários e gestores, o que resulta em modelos incompletos ou inadequados para uma gestão eficiente dos ativos. Como consequência, a automação e a eficácia na gestão de *facilities* são comprometidas, afetando negativamente o desempenho desta fase [2][15].

Outra questão é a confiabilidade dos dados, especialmente devido às inconsistências nos modelos *as-built*, que frequentemente não refletem com precisão as condições reais das edificações após a conclusão da obra. Esse descompasso afeta diretamente a tomada de decisões na fase operacional, uma vez que os dados fornecidos nem sempre correspondem à realidade do edifício. A ausência de um controle rigoroso de qualidade e a falta de validação contínua dos dados ao longo do ciclo de vida do edifício são aspectos que ainda necessitam de aprimoramento [16][17].

Além disso, a interoperabilidade entre sistemas continua sendo um dos maiores obstáculos à integração contínua de dados. A adoção de padrões abertos, como *Industry Foundation Classes* (IFC) e *Construction Operations Building Information Exchange* (COBie), tem sido amplamente recomendada

para superar essas barreiras e permitir a troca fluida de dados entre diferentes plataformas [11][18]. No entanto, a implementação desses padrões ainda é limitada [19].

Pesquisas recentes têm focado no desenvolvimento de ferramentas que aprimorem a confiabilidade e a interoperabilidade dos dados BIM-FM. [20] propuseram o uso de *dashboards* interativos em PowerBI para facilitar o gerenciamento de ativos, enquanto [21] desenvolveram soluções automatizadas para validar e verificar arquivos COBie, melhorando a garantia de qualidade dos dados e a integração entre plataformas. [22] também contribuíram com um *framework* que integra processos de negócios e gestão de informações, utilizando BPMN para modelar processos e vincular dados essenciais aos modelos 3D em formato IFC. Adicionalmente, a plataforma BIM-FM, desenvolvida por [2], facilita a transferência de informações entre BIM e outros sistemas via arquivos csv, enquanto [15] criaram uma aplicação que lê arquivos IFC e armazena dados no formato COBie em um banco de dados na nuvem, permitindo um preenchimento integrado e eficiente para a fase de operações.

Esses esforços representam avanços importantes na integração de dados BIM com sistemas de *facilities*. Contudo, ainda há necessidade de melhorias em aspectos como interoperabilidade, padronização e confiabilidade para garantir uma gestão eficiente dos ativos ao longo do ciclo de vida das edificações. Embora as ferramentas identificadas auxiliem na verificação e entrega de informações, elas operam em um fluxo unidirecional, onde os dados são verificados e complementados em novos formatos, sem atualizar o modelo BIM original.

METODOLOGIA

Com base nos desafios identificados e nas soluções já discutidas, este trabalho propõe um conjunto de artefatos que estabelece um fluxo bidirecional de informações, permitindo a verificação e complementação contínua do arquivo IFC do projeto. Essa abordagem visa superar as limitações dos fluxos unidirecionais, favorecendo a atualização dinâmica e o enriquecimento das informações.

Para resolver o problema proposto, foi adotado o método de pesquisa da *Design Science Research* (DSR). As fases iniciais de conscientização do problema e análise das soluções existentes foram abordadas anteriormente.

SEQUÊNCIA EXECUTIVA

Para atingir o objetivo proposto, três artefatos serão desenvolvidos, cada um com um propósito específico, conforme descrito a seguir:

- Artefato 1: Plataforma *web* para registro e gestão dos ativos no modelo BIM, permitindo a verificação e atualização contínua dos dados ao longo das fases de construção e comissionamento, com uma interface intuitiva para facilitar a administração;
- Artefato 2: Criação de uma API REST para integrar os dados da plataforma *web* com outros sistemas e aplicações, garantindo a interoperabilidade;
- Artefato 3: *Add-on* para o Blender que permitirá criar registros de ativos na plataforma *web* (Artefato 1) ou enviar dados diretamente para ela. O *add-on* também consumirá as informações da plataforma, usando a API (Artefato 2) para acessar e manipular os dados no Blender. Além disso, permitirá inserir essas informações no arquivo IFC, garantindo um fluxo bidirecional eficiente entre o Blender e a plataforma *web*.

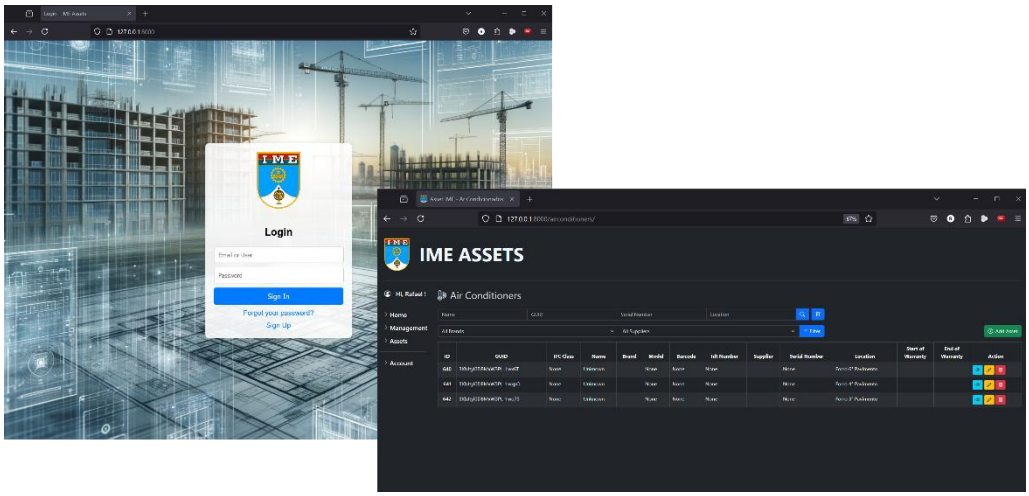
A seguir serão apresentados a metodologia de desenvolvimento dos artefatos citados.

ARTEFATO 1: DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA WEB

Para o desenvolvimento da plataforma *web*, foi utilizada a linguagem de programação Python. A escolha se deve ao fato de que essa linguagem será empregada na implementação dos demais artefatos, já que tanto a API do Blender quanto a do Bonsai (antigo Blenderbim) utilizam Python, além da compatibilidade com a biblioteca *IfcOpenShell*, adotada para manipulação do formato IFC.

A escolha pelo desenvolvimento de uma plataforma *web* (Figura 1) visa centralizar as informações e evitar o uso de planilhas descentralizadas ou outros formatos eletrônicos e físicos que comprometem a padronização. Essa abordagem elimina a necessidade de acessar diretamente o *software* BIM para atualizar dados, permitindo que os encarregados realizem as atualizações por meio da plataforma em qualquer dispositivo, facilitando a visualização centralizada e organizada das informações.

Figura 1: Interface da plataforma *web.*

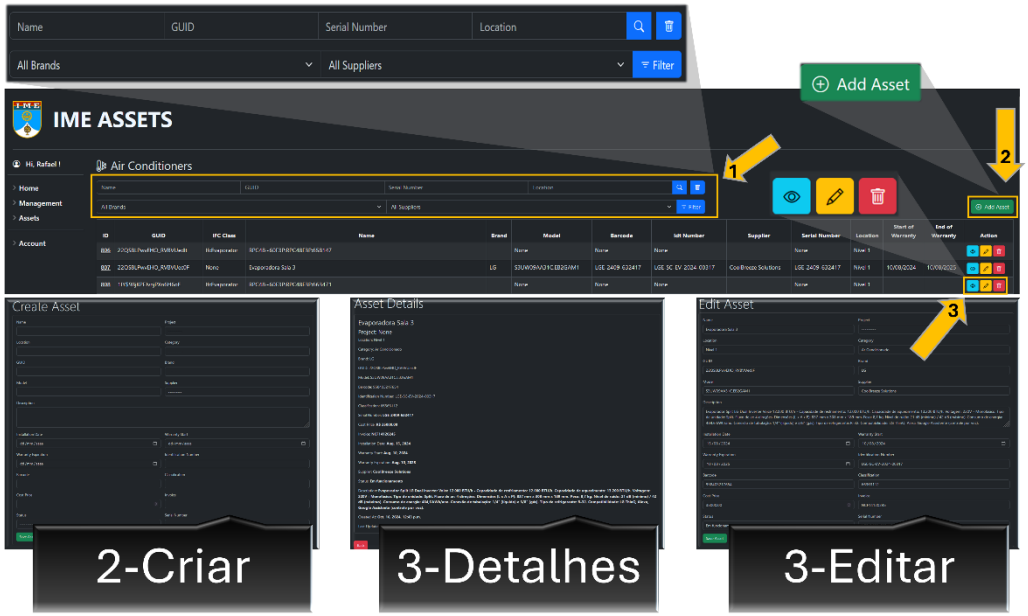


Fonte: Autor.

A plataforma permite o cadastro e a configuração de permissões de usuários em sua área administrativa. Essa funcionalidade assegura que as operações de criação, leitura, atualização e exclusão de dados (*Create, Read, Update, Delete* - CRUD) sejam realizadas conforme as autorizações específicas, garantindo a integridade e a segurança dos dados.

O cadastro dos ativos pode ser realizado diretamente na plataforma, seja por envio automático a partir do artefato 3 ou manualmente no próprio site. Conforme ilustrado na Figura 2, a plataforma permite buscas por nome, GUID, número de série ou fornecedor (1). Além disso, a plataforma possibilita a criação de novos ativos (2) ou a visualização e edição das informações já cadastradas (3).

Figura 2: Opções de operação na plataforma web.



Fonte: Autor.

ESTRUTURAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Para a implementação computacional, foram selecionados requisitos de informação comuns a diferentes tipos de ativos, baseados nas diretrizes da ISO 19650-3 e da BS 8210:2020. Essa escolha tem caráter exemplificativo, pois as informações específicas devem ser definidas pelo Requisito de Informação dos Ativos (AIR) de cada empreendimento.

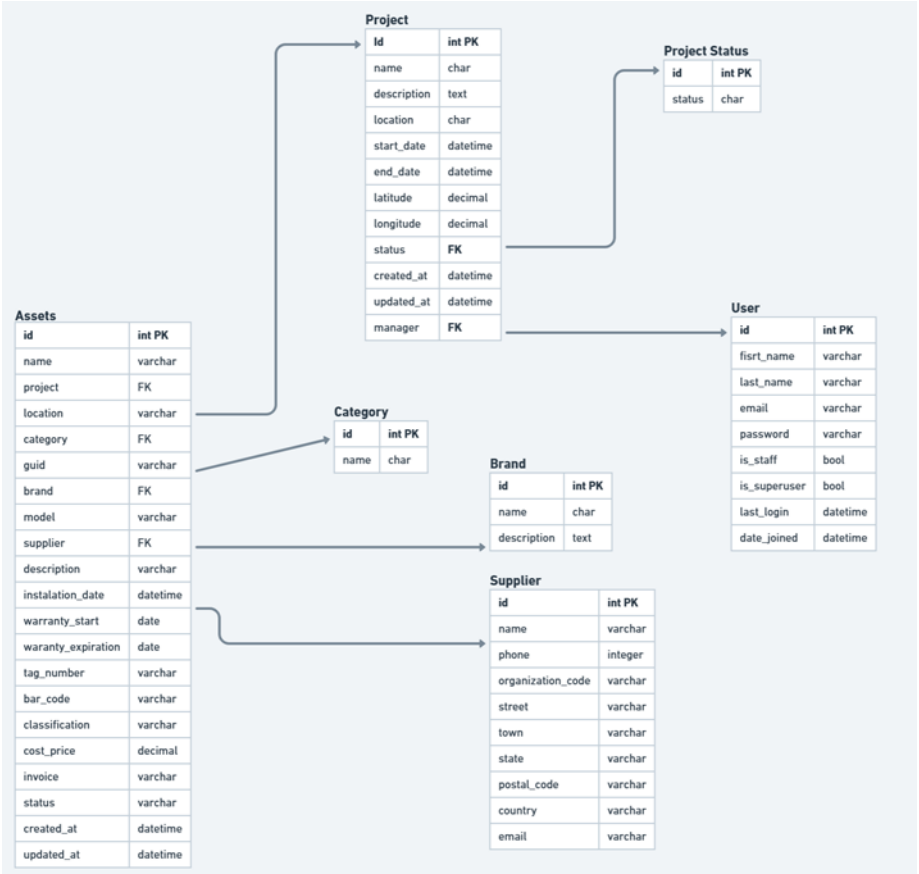
O Quadro 1 apresenta os requisitos de informação selecionados para a implementação do banco de dados, enquanto a Figura 3 ilustra sua modelagem.

Quadro 1: Requisitos de informação selecionados.

Requisitos de Informação	**Requisitos de Informação**	**Requisitos de Informação**
Informações de Garantia	Descrição do Ativo	Data de Instalação
Localização do Ativo	Número de Série	Informações de Compra
Informações do Fabricante/Fornecedor	Classificação	Documentação de Entrega
Número de Identificação	Nome do Ativo	Tag de Ambiente
Informações do Código de Barras	Marca/Modelo	Informações Gerais de Instalação

Fonte: Autor.

Figura 3: Modelagem do banco de dados.



Fonte: Autor.

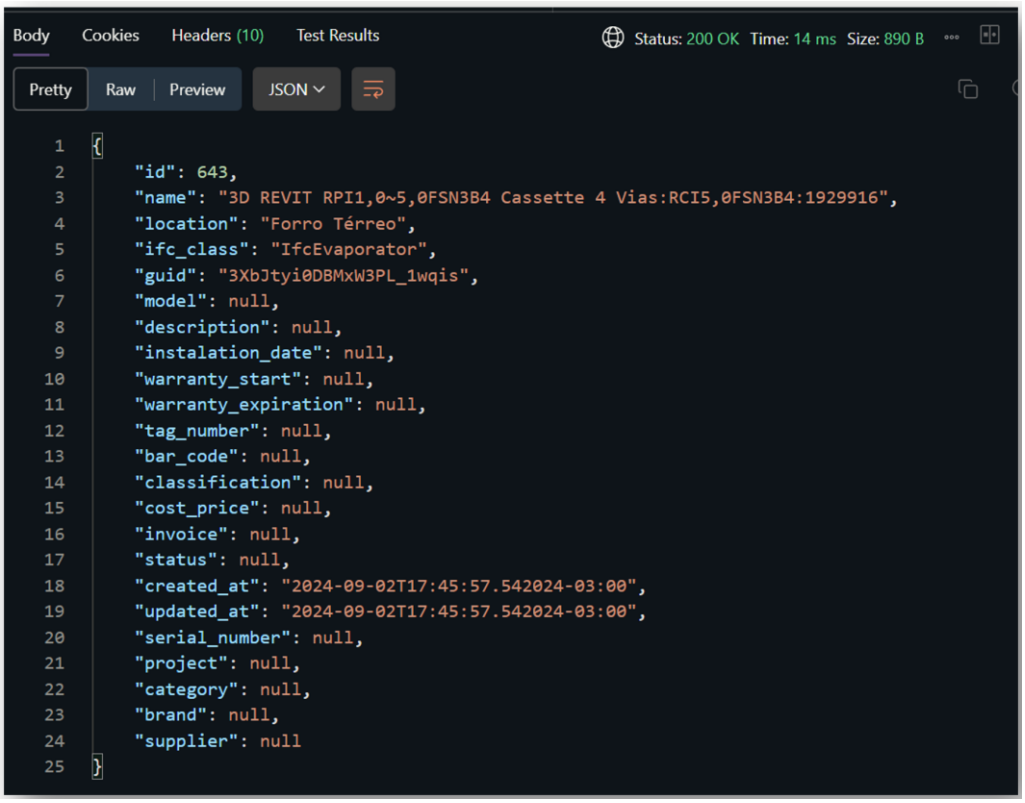
ARTEFATO 2: DESENVOLVIMENTO DA API REST

O segundo artefato deste estudo é uma API REST (*Representational State Transfer*), desenvolvida para integrar a plataforma *web* com outros sistemas. Sua função é facilitar a comunicação e o compartilhamento de dados entre a plataforma e aplicativos externos, promovendo a interoperabilidade e ampliando o acesso às informações armazenadas no banco de dados.

A API adota uma arquitetura orientada a recursos, onde cada recurso é identificado por um URL *(Uniform Resource Locator*) e manipulado por métodos HTTP. Esse formato modular permite que diferentes componentes sejam desenvolvidos e mantidos de forma independente, sem a necessidade de conhecer os detalhes internos de cada sistema.

Quando uma requisição é feita a um dos *endpoints* da API, o sistema retorna os dados cadastrados na plataforma no formato JSON (*JavaScript Object Notation*), conforme ilustrado na Figura 4. O JSON é amplamente utilizado para a troca de dados em aplicações *web*, organizando informações em pares chave-valor, sendo um formato leve e eficiente para a comunicação entre servidor e cliente.

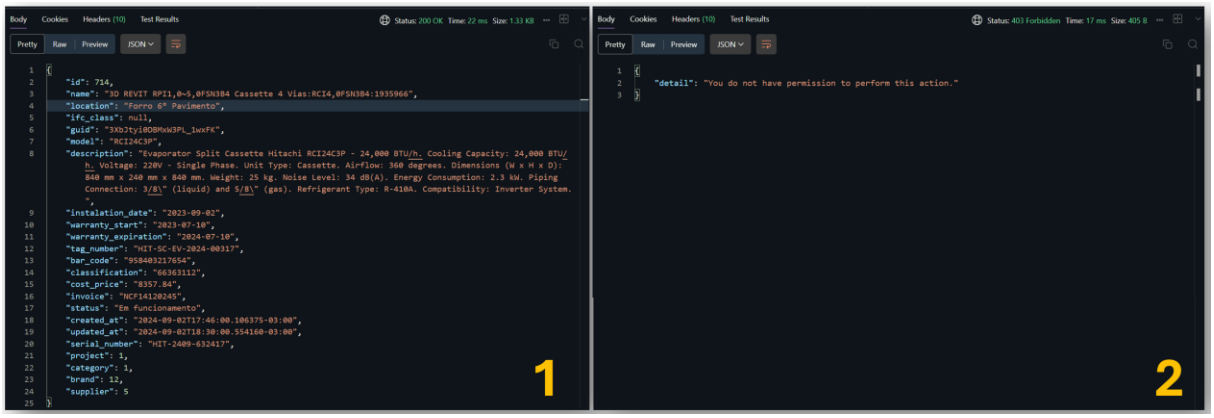
Figura 4: Resposta JSON.



Fonte: Autor.

Para garantir a segurança e o controle de acesso aos dados, foi implementado um mecanismo de autenticação baseado em *tokens*. Nesse sistema, o usuário gera um *token* na plataforma *web*, contendo suas credenciais de identificação. Ao realizar uma solicitação ao banco de dados, o *token* é enviado com a requisição para verificar as autorizações do usuário. Caso as permissões sejam concedidas, uma resposta no formato JSON é retornada (Figura 5, 1). Caso contrário, a solicitação é recusada (Figura 5, 2).

Figura 5: (1) Solicitações autorizadas em formato JSON; (2) Solicitações não autorizadas.



Fonte: Autor.

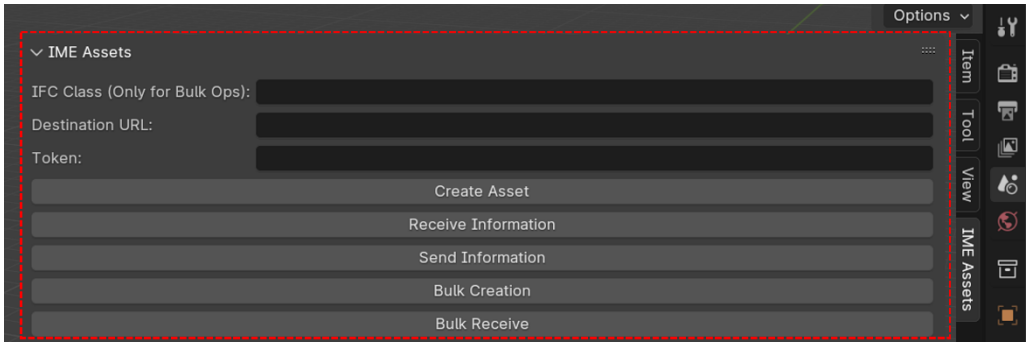
A autenticação por *tokens* tem como objetivo garantir que apenas usuários autenticados e autorizados possam acessar ou modificar o banco de dados ao utilizar a API em plataformas externas, distintas da plataforma *web* desenvolvida, reforçando a segurança dos dados armazenados.

ARTEFATO 3: DESENVOLVIMENTO DO *ADD-ON* PARA O BLENDER

O terceiro artefato é um *add-on* que atua como interface de comunicação entre o modelo visualizado no Bonsai e o banco de dados da plataforma *web*.

Ele permite ao usuário acessar, criar, editar, transmitir e receber informações diretamente no banco de dados, assegurando um fluxo bidirecional de dados entre os artefatos. Desenvolvido em Python, o Artefato 3 (Figura 6) utiliza a biblioteca *IfcOpenShell* para ler, modificar e escrever dados no arquivo IFC, permitindo a inclusão de atributos e conjuntos de *property sets* nos objetos do modelo BIM.

Figura 6: Vista do *Add-on*.

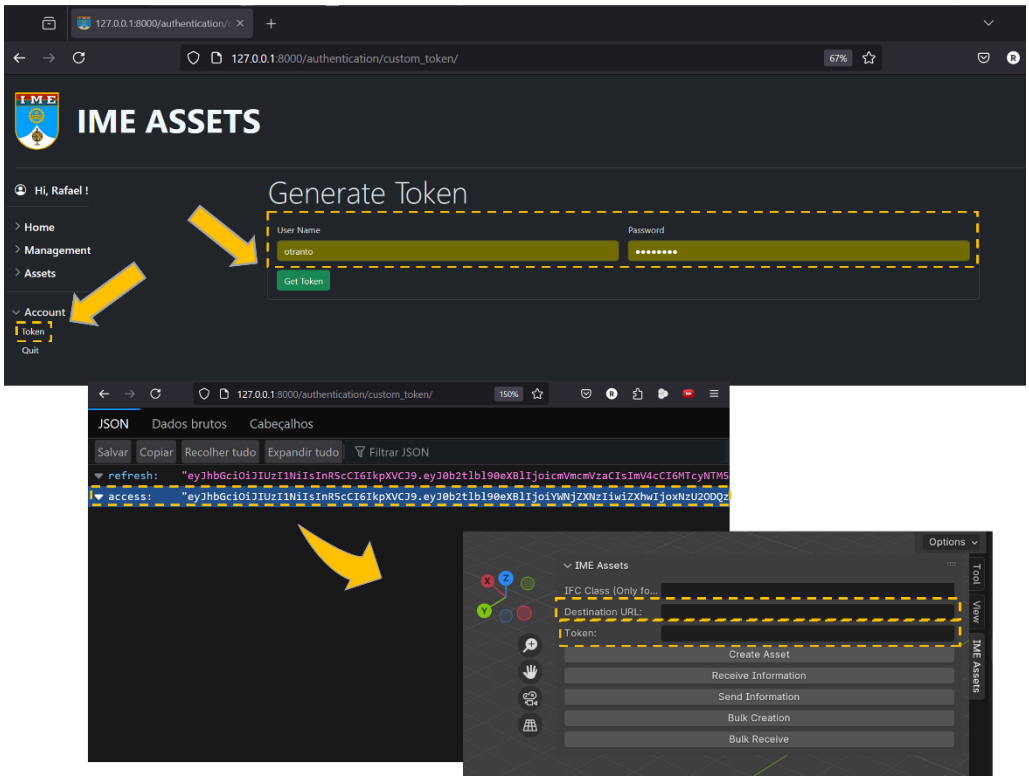


Fonte: Autor.

A lógica de funcionamento do Artefato 3 segue uma sequência estruturada. Inicialmente, o usuário especifica a classe IFC dos ativos a serem registrados, preenchendo o campo *"IFC Class"*. Em seguida, insere a URL de destino no campo *"Destination URL"*, previamente configurada na plataforma *web*. O próximo passo envolve a geração de um *token* de autenticação na plataforma, contendo as credenciais do usuário, que é então inserido no *add-on*. Esse processo viabiliza a troca bidirecional de dados entre o Blender e a plataforma *web*, permitindo a criação, envio e recebimento de informações.

Ao selecionar um objeto e utilizar o comando *"Create Asset"*, um registro do ativo é criado no banco de dados. A função *"Send Information"* permite o envio de atualizações feitas no modelo diretamente ao banco de dados, garantindo a sincronização dos dados. De maneira similar, o comando *"Receive Information"* possibilita a importação de informações da plataforma *web* para o modelo, assegurando que ambos permaneçam atualizados. Para facilitar a gestão de dados em grande escala, as opções *"Bulk Create"* e *"Bulk Receive"* permitem a criação ou recepção simultânea de informações de múltiplos ativos pertencentes a uma mesma classe. A Figura 7 ilustra configuração inicial para o funcionamento dos artefatos.

Figura 7: Funcionamento dos Artefatos.



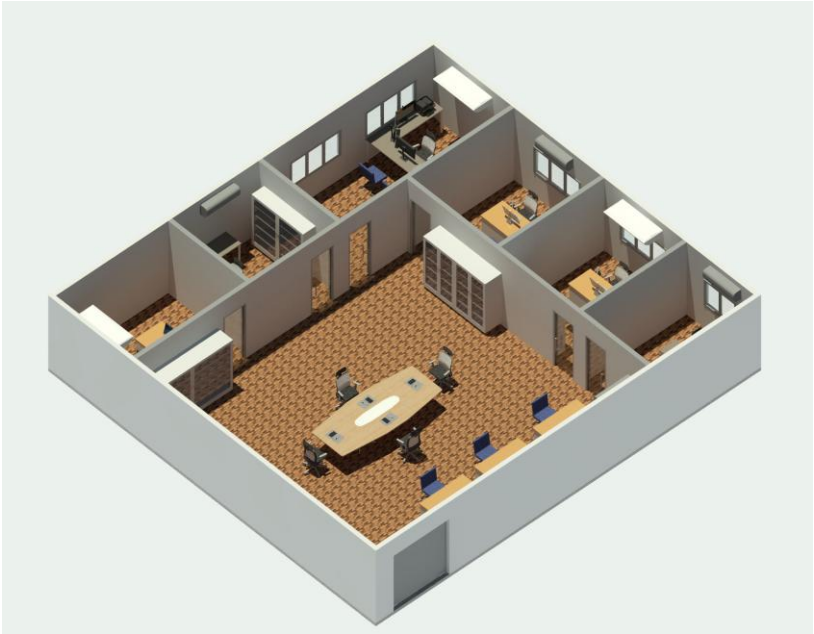
Fonte: Autor.

Um aspecto crucial desse processo é a inserção adequada das informações no formato IFC, em conformidade com a ISO 16739-1:2024. Essa prática garante tanto a integridade do modelo de dados quanto a interoperabilidade com outros *softwares*. No modelo IFC, os dados podem ser atribuídos como atributos de classe, em *property sets* padrão, ou por meio da criação de *property sets* personalizados. Para a implementação do *add-on*, foi conduzido um estudo aprofundado da documentação do IFC, assegurando que as informações fossem inseridas em conformidade com as diretrizes estabelecidas.

ESTUDO DE CASO

Para a fase de avaliação do artefato no contexto da DSR, será conduzido um estudo de caso em um pequeno escritório, como ilustrado na Figura 8, com foco no gerenciamento das informações dos aparelhos de ar-condicionado da sala.

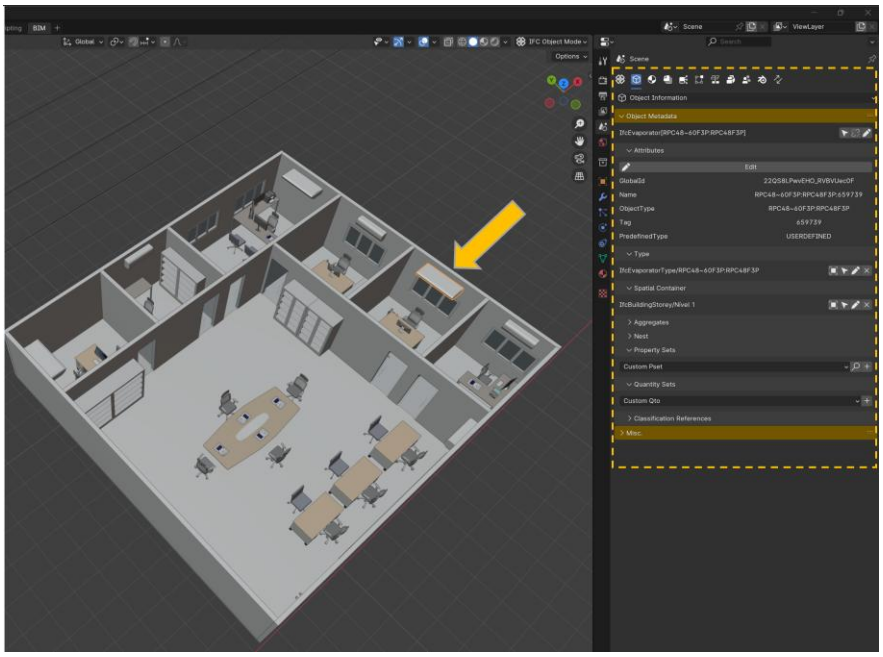
Figura 8: Escritório do estudo de caso.



Fonte: Autor.

Ao analisar as unidades, ilustradas na Figura 9, observa-se que, pelo painel lateral do Bonsai (Figura 9), que os objetos carecem de informações detalhadas para a gestão de ativos.

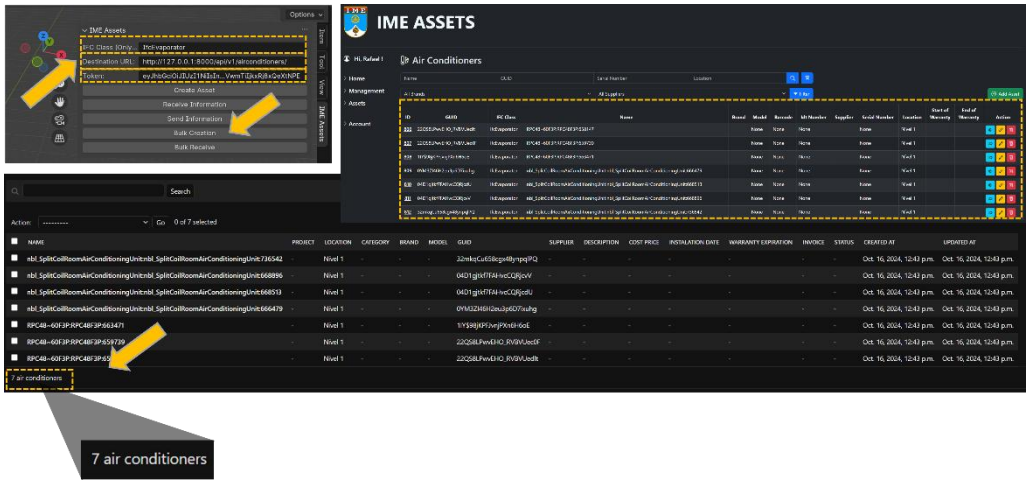
Figura 9: Informações iniciais dos ativos do modelo estudado.



Fonte: Autor.

Devido à ausência de dados no modelo, a gestão foi iniciada utilizando os artefatos desenvolvidos. Para otimizar o processo, foi utilizada a funcionalidade "*Bulk Creation*" do *add-on*, que permite o envio simultâneo de todos os registros dos aparelhos de ar-condicionado para a plataforma *web*. Durante esse processo, foram especificados a classe IFC dos objetos, a URL de destino (correspondente ao *endpoint* configurado na plataforma *web*) e o *token* de autenticação do usuário.

Figura 10: Uso dos Artefatos.

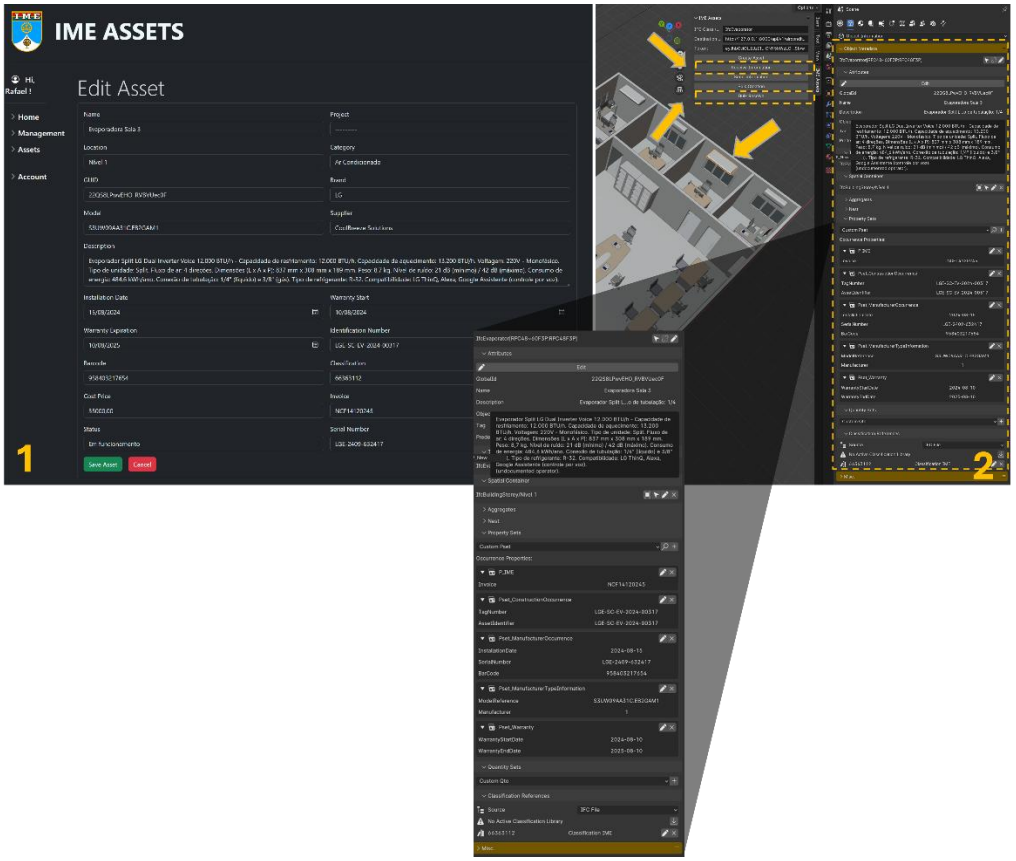


Fonte: Autor.

A Figura 10 ilustra o processo e a interface da plataforma *web* com os dados devidamente carregados. Após essa inserção, as informações correspondentes foram cadastradas (Figura 11, 1). O *add-on* oferece duas funcionalidades para a importação de dados: a primeira, "*Receive Information*", permite a importação individual, enquanto a segunda, "*Bulk Receive*", realiza a importação em massa.

Após a importação, os dados são automaticamente registrados no arquivo IFC e vinculados aos atributos ou *property sets* apropriados (Figura 11, 2).

Figura 11: (1) Edição de informações; (2) Informações transferidas para o modelo BIM.



Fonte: Autor.

DISCUSSÕES

Os resultados do estudo de caso atenderam de forma satisfatória aos objetivos iniciais, focados na melhoria da gestão de informações de ativos entre a fase de conclusão da obra e o início da operação com o uso do BIM.

O Artefato 1 mostrou-se eficaz para a criação e gestão centralizada de informações dos ativos. A escolha por uma plataforma *web* foi estratégica, permitindo acesso rápido e seguro por qualquer dispositivo, sem necessidade de instalações adicionais. A segurança foi garantida por um sistema de gerenciamento de acesso com permissões específicas para diferentes tipos de usuários.

A plataforma permitiu a auditoria das informações por vários atores, abordando os desafios de precisão e consistência dos dados, conforme apontado por [15] e [16]. Além disso, a centralização das informações facilitou sua validação e incorporação ao modelo BIM, atendendo a preocupações destacadas por [2] sobre a falha dos métodos tradicionais em fornecer dados úteis aos proprietários.

A integração entre os artefatos foi assegurada pela API com controle de acesso e o uso de *tokens*, garantindo interoperabilidade entre o Artefato 1 e o Artefato 3.

O *add-on* desenvolvido foi eficaz no gerenciamento do fluxo bidirecional de informações entre a plataforma web e o modelo BIM, garantindo que ambos estivessem sempre atualizados e em conformidade com o esquema IFC. Isso também assegura que ferramentas de gerenciamento de *facilities* possam acessar e consumir as informações de forma eficiente.

CONCLUSÃO

Este estudo propôs uma solução inovadora para integrar o BIM-FM, destacando a importância da interoperabilidade e da gestão eficiente das informações dos ativos ao longo do ciclo de vida das edificações.

O desenvolvimento dos artefatos possibilitou a criação de um fluxo bidirecional de informações, minimizando a perda de dados e garantindo a atualização contínua entre os modelos BIM e a plataforma criada. Isso viabilizou a entrega de um modelo BIM confiável e completo para a fase operacional ao término da construção.

Os resultados mostraram que a plataforma *web* e a API REST centralizaram e disseminaram informações com eficácia, abordando problemas de precisão e consistência dos dados. O *add-on* para o Blender foi essencial para a integração entre o modelo BIM e a plataforma *web*, reforçando a interoperabilidade e garantindo a correta alocação das informações no esquema IFC.

Embora os objetivos tenham sido alcançados, o estudo apresentou limitações, como o foco em requisitos de informação comuns. Pesquisas futuras podem explorar a aplicação dos artefatos em outros *softwares* BIM, dispositivos móveis e diferentes tipos de ativos, ampliando a aplicabilidade das soluções.

REFERÊNCIAS

[1] AMORIM, S. R. L. de. Gerenciamento e Coordenação de Projetos BIM. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: GEN LTC, 2022.

[2] TSAY, G. S.; STAUB-FRENCH, S.; POIRIER, É. *BIM for Facilities Management: An Investigation into the Asset Information Delivery Process and the Associated Challenges*. Applied Sciences (Switzerland), v. 12, n. 19, 2022. DOI: 10.3390/app12199542.

[3] SACKS, R.; EASTMAN, C. M.; LEE, G.; TEICHOLZ, P. M. *BIM handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. 3. ed. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2018.

[4] C. Newman, D. Edwards, I. Martek, J. Lai, W. D. Thwala, e I. Rillie. *Industry 4.0 deployment in the construction industry: a bibliometric literature review and UK-based case study, Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 10, no 4, p. 557–580, jan. 2020, doi: 10.1108/SASBE-02-2020-0016.

[5] SHEIK, N. A.; VEELAERT, P.; DERUYTER, G. *Exchanging Progress Information Using IFC-Based BIM for Automated Progress Monitoring. Buildings,* v. 13, n. 9, p. 2390, set. 2023. DOI: 10.3390/buildings13092390.

[6] WONG, J. K. W.; GE, J.; HE, S. X. *Digitisation in facilities management: A literature review and future research directions. Automation in Construction*, v. 92, p. 312–326, ago. 2018. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.04.006.

[7] DESBALO, M. T. et al*. BIM-enabled built-asset information management conceptual framework: A case of public university buildings in Addis Ababa*, Ethiopia. Heliyon, v. 10, n. 12, jun. 2024. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e33026.

[8] BECERIK-GERBER, B. et al. *Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management. Journal of Construction Engineering and Management*, v. 138, n. 3, p. 431–442, mar. 2012. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433.

[9] MATARNEH, S. T. et al. *BIM for FM Developing information requirements to support facilities management systems. Facilities*, v. 38, n. 5/6, p. 378–394, 2020. DOI: 10.1108/F-07-2018-0084.

[10] PÄRN, E. A.; EDWARDS, D. J.; SING, M. C. P. *The Building Information Modelling trajectory in facilities management: A review. Automation in Construction*, v. 75, p. 45–55, mar. 2017. DOI: 10.1016/j.autcon.2016.12.003.

[11] KIM, K. et al. *Integration of ifc objects and facility management work information using Semantic Web. Automation in Construction*, v. 87, p. 173–187, mar. 2018. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.12.019.

[12] ASHWORTH, S.; DILLINGER, M.; KÖRKEMEYER, K*. BIM guidance to optimise the operational phase: defining information requirements based on ISO 19650*. Facilities, v. 41, n. 5/6, p. 337–356, jan. 2022. DOI: 10.1108/F-08-2021-0074.

[13] MOTAMEDI, A.; IORDANOVA, I.; FORGUES, D. *FM-BIM Preparation Method and Quality Assessment Measures*. jun. 2018.

[14] ROGAGE, K.; GREENWOOD, D*. Data transfer between digital models of built assets and their operation & maintenance systems. Journal of Information Technology in Construction*, v. 25, p. 469–481, out. 2020.

[15] MATARNEH, S. et al. *Automated and interconnected facility management system: An open IFC cloud-based BIM solution. Automation in Construction*, v. 143, p. 104569, 2022. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104569.

[16] BROUS, P. et al. *Data Infrastructures for Asset Management Viewed as Complex Adaptive Systems. Procedia Computer Science*, v. 36, p. 124–130, jan. 2014. DOI: 10.1016/j.procs.2014.09.048.

[17] LIN, Y.-C. et al. *Developing final as-built BIM model management system for owners during project closeout: A case study. Advanced Engineering Informatics*, v. 36, p. 178–193, abr. 2018. DOI: 10.1016/j.aei.2018.04.001.

[18] MIRARCHI, C. et al. *Supporting Facility Management Processes through End-Users' Integration and Coordinated BIM-GIS Technologies. ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 7, n. 5, maio 2018. DOI: 10.3390/ijgi7050191.

[19] PATACAS, J. et al. *BIM for facilities management: evaluating BIM standards in asset register creation and service life. Journal of Information Technology in Construction*, v. 20, n. 20, p. 313–331, ago. 2015.

[20] OLIVEIRA, A. et al. *Development of Standard-Based Information Requirements for the Facility Management of a Canteen. Journal of Information Technology in Construction*, v. 29, p. 281–307, 2024. DOI: 10.36680/j.itcon.2024.014.

[21] ALTWASSI, E. J. et al. *From Design to Management: Exploring BIM's Role across Project Lifecycles, Dimensions, Data, and Uses, with Emphasis on Facility Management. Buildings*, v. 14, n. 3, 2024. DOI: 10.3390/buildings14030611.

[22] GOONETILLAKE, J. F.; REN, G.; LI, H. *An Integration of Business Processes and Information Management for Improving the Efficiency and Reliability of Infrastructure. Applied Sciences (Basel)*, v. 13, n. 24, dez. 2023. DOI: 10.3390/app132412974.

[23] MUNIR, M. et al. *BIM-based operational information requirements for asset owners. Architectural Engineering and Design Management*, v. 16, n. 2, p. 100–114, 2020. DOI: 10.1080/17452007.2019.1706439.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Elaboração de projeto padrão para estação de BRT (Bus Rapid Transit). Modelagem BIM na dimensão 6D

Elaboration of standard project for BRT (Bus Rapid Transit) station. BIM modeling in the 6D dimension.

Karoline Lima Silva | Multiplano Engenharia | karoline.silva@multiplanoengenharia.com.br | 0009-0002-1061-8288
Edson Clay de Lira Silva Junior | Multiplano Engenharia | edson.clay@multiplanoengenharia.com.br
Daniele Balestreri Scarabelot| Multiplano Engenharia | daniele.scarabelot@multiplanoengenharia.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14474973

Resumo

A elaboração de um projeto padrão para as estações de BRT (*Bus Rapid Transit*) visa abordar uma das maiores dificuldades enfrentadas por projetistas, executores e contratantes: a compatibilização entre disciplinas e a precisão das quantidades e especificações. A resolução desse conflito é o principal objetivo deste modelo, que busca através de uma definição clara dos Requisitos de Informação do Projeto (PIR), construir uma base sólida antes do início da modelagem. Essa abordagem garante maior precisão na elaboração do projeto e na execução do empreendimento, além de assegurar uma gestão de informação mais eficiente. A criação de um projeto padrão é uma ferramenta essencial para projetos replicáveis, pois assegura a padronização, resolução antecipada de conflitos e compatibilização entre disciplinas. Além disso, ao aplicar a dimensão 6D do BIM, é possível garantir a sustentabilidade do projeto por meio da inclusão de informações sobre a manutenção e operação de cada elemento modelado. Outro aspecto crucial na modelagem é a interoperabilidade do modelo. Para isso, a elaboração de um Plano de Execução BIM (PEB) preciso é fundamental. O planejamento antecipado permite definir os níveis de informação (NI) que estarão presentes no modelo, o nível de detalhamento (ND), os envolvidos e as responsabilidades de cada membro, a estrutura de organização da informação (EOI), os níveis, eixos e sistemas de coordenadas, os softwares e suas respectivas versões, bem como a criação de parâmetros compartilhados e a definição de um ambiente comum de dados (CDE). A propagação da metodologia BIM deve estar vinculada a disseminação da necessidade de organização prévia. É essencial que o trabalho de planejamento do modelo anteceda o início da modelagem. Todos os envolvidos devem estar alinhados com o objetivo final do modelo, compreendendo a finalidade da modelagem e organizando as metas do plano de execução. Dessa forma, é possível garantir que os projetos sejam desenvolvidos com informações precisas, assegurando um futuro promissor para o BIM na engenharia. A escolha do BRT como exemplo para aplicação desta metodologia demostra a viabilidade de implantação do BIM na dimensão 6D em diferentes tipos de projetos. Este caso também serve como um exemplo de como podemos contribuir para a criação de cidades inteligentes, com equipamentos urbanos modelados e carregados de informação. A adoção de um projeto padrão evidencia a possibilidade de incorporação desta prática pelo poder público, proporcionando maior controle sobre elementos replicáveis na cidade, como escolas, creches, unidades de saúde, mobiliários urbanos e, como no caso em questão, estações de BRT. Embora a importância da adoção do BIM na elaboração de projetos seja amplamente conhecida, a forma como a informação deve ser integrada a modelagem ainda é um desafio para muitos. Nosso principal objetivo com o projeto padrão é exemplificar e simplificar a definição de

parâmetros e metodologias que garantem a compatibilização e precisão na extração de quantitativos e especificações do modelo.

Palavras-chave: Modelagem. Transporte. Tecnologia. Dimensão 6D. Cidade Inteligente.

Abstract

The elaboration of a standard project for BRT (Bus Rapid Transit) stations aims to address one of the greatest difficulties faced by designers, executors and contractors: the compatibility between disciplines and the precision of quantities and specifications. The resolution of this conflict is the main objective of this model, which seeks through a clear definition of the Project Information Requirements (PIR), to build a solid foundation before the start of modeling. This approach ensures greater precision in the preparation of the project and in the execution of the project, in addition to ensuring more efficient information management. The creation of a standard project is an essential tool for replicable projects, as it ensures standardization, early resolution of conflicts and compatibility between disciplines. In addition, by applying the 6D dimension of BIM, it is possible to ensure the sustainability of the project by including information about the maintenance and operation of each modeled element. Another crucial aspect in modeling is the interoperability of the model. For this, the preparation of an accurate BIM Execution Plan (BEP) is essential. Advance planning allows you to define the levels of information (NI) that will be present in the model, the level of detail (ND), those involved and the responsibilities of each member, the structure of information organization (EOI), the levels, axes and coordinate systems, the software and their respective versions, as well as the creation of shared parameters and the definition of a common data environment (CDE). The propagation of the BIM methodology must be linked to the dissemination of the need for prior organization. It is essential that the model planning work precedes the start of modeling. Everyone involved must be aligned with the ultimate goal of the model, understanding the purpose of the modeling, and organizing the goals of the execution plan. In this way, it is possible to ensure that projects are developed with accurate information, ensuring a promising future for BIM in engineering. The choice of BRT as an example for the application of this methodology demonstrates the feasibility of implementing BIM in the 6D dimension in different types of projects. This case also serves as an example of how we can contribute to the creation of smart cities, with urban equipment modeled and loaded with information. The adoption of a standard project highlights the possibility of incorporation of this practice by the government, providing greater control over replicable elements in the city, such as schools, daycare centers, health units, urban furniture and, as in the case in question, BRT stations. Although the importance of adopting BIM in the preparation of projects is widely known, the way in which information should be integrated into modeling is still a challenge for many. Our main objective with the standard design is to exemplify and simplify the definition of parameters and methodologies that ensure compatibility and precision in the extraction of quantities and specifications from the model.

Keywords: Modelling. Transport. Technology. Dimension 6D. Smart City

INTRODUÇÃO

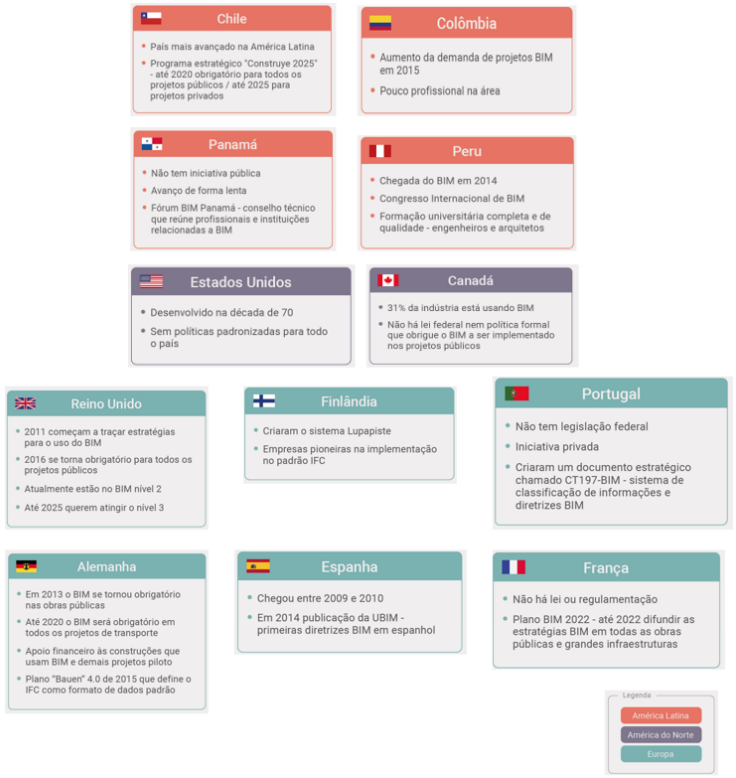
É sabido que a disseminação do BIM no país tem ganhado força com decretos e legislações que incentivam a utilização e sua difusão no Brasil, entretanto, a compatibilização entre as disciplinas e a precisão das quantidades e especificações, continuará sendo um problema para os projetistas e contratantes, caso não haja organização e planejamento prévio. O objetivo deste artigo é exemplificar a resolução deste problema, através da implantação de requisitos de informação do projeto (PIR), a construção do Plano de Execução BIM (PEB) e as definições de nível de detalhe (ND) e nível de informação (NI). O texto discute a metodologia aplicada ao desenvolvimento do projeto padrão BRT, destacando como o uso do BIM pode proporcionar a otimização e uma visão integrada, desde que um bom e prévio planejamento seja feito.

CONTEXTO HISTÓRICO

O BIM foi introduzido no Brasil por volta dos anos 2000, ganhando maior destaque após 2010. Em 2018 surgiram os principais marcos regulatórios impulsionando sua adoção. Em 2021, o Decreto

nº10.306/2020 [1] estabeleceu a utilização do BIM na execução direta e indireta de obras e serviços de engenharia. A Lei nº14.133 de 2021 [2] estabeleceu as normas para licitação e contratação, além de definir no § 3º, art.19 a preferência de adoção da Modelagem a Informação da Construção (*Building Information Modelling* – BIM). Em 2024, o Decreto nº11.888 [3] estabeleceu a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM no Brasil, conhecida como Estratégia BIM BR. Este decreto tem como objetivo promover um ambiente adequado para o investimento em BIM e sua difusão no país. Ao redor do mundo, a metodologia BIM tem transformado a maneira como projetos são concebidos, gerenciados e executados. O panorama geral de como o BIM se espalhou pelo mundo e os estágios de sua adoção em cada país podem ser observados na 1 elaborada pelo Sienge [4].

Figura 1: Estágio de adoção nos países



Fonte: Sienge [4].

USOS DO BIM

A metodologia BIM tem ganhado espaço em todo o mundo, sendo a forma de trabalho que garante maior assertividade no processo de elaboração de um projeto, entretanto ainda é deficitário o entendimento sobre o que significa modelar em BIM. Ao dar início a um processo de contratação ou de desenvolvimento é essencial ter uma compreensão clara dos “Usos BIM”.

Ao criar um modelo digital detalhado da estação do BRT de São Paulo, o BIM permitiu visualizar o projeto em 3D, simular a construção ao longo do tempo (4D), otimizar custos (5D) e gerenciar o ciclo de vida de um edifício ou infraestrutura (6D). Essa abordagem garante maior eficiência, reduz custos e melhora a qualidade final da obra. Conforme Bonatto [5], as dimensões do BIM fornecem informações cruciais para a gestão completa de um projeto de construção.

NÍVEL DE INFORMAÇÃO

Seguindo as diretrizes da ISO 19650-1 [6] e definindo cuidadosamente os níveis de informação, é possível garantir que o modelo BIM seja uma ferramenta eficaz para a gestão do ciclo de vida completo do empreendimento. Para cada entregável deverá ser definido o nível de informação necessária, sempre ajustado aos usos BIM pretendidos. Tal definição deverá abranger todo ciclo de vida do empreendimento, descrito de forma clara dentro dos quatro requisitos de informação:

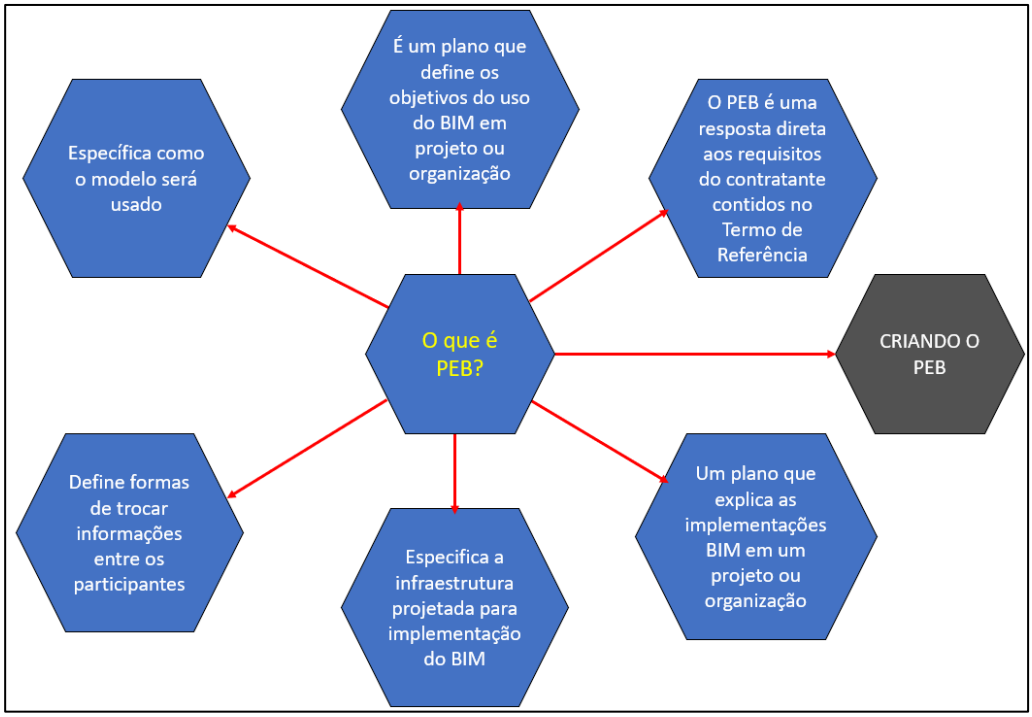
1. Requisitos de Informação da Organização (OIR);
2. Requisitos de Informação do Projeto (PIR);
3. Requisitos de Informação do Ativo (AIR);
4. Requisitos de Troca da Informação (EIR).

Os requisitos citados estão relacionados ao processo de gerenciamento de informações em projetos de construção no contexto BIM e são utilizados para realizar a coleta de informações no início do projeto. A definição precisa dos níveis de informação é crucial para garantir que o modelo BIM atenda às necessidades de cada fase do projeto e dos diferentes colaboradores dentro do processo.

PLANO DE EXECUÇÃO BIM (PEB)

O Plano de Execução BIM (PEB) é um documento essencial para o sucesso de um projeto que utiliza da metodologia BIM, pois representa uma das ferramentas funcionais de referência para o correto gerenciamento de um comissionamento e a sincronização do fluxo de trabalho, desde o planejamento das obras até o gerenciamento dos ativos, conforme exemplificado na Figura 2.

Figura 2: O que é PEB



Fonte: Bonatto (2021) [5] - Adaptado pelo Autor

O PEB analisa os pedidos do cliente e os conteúdos contratuais, além de descrever por quais etapas de tomada de decisão a equipe de trabalho realizará para o projeto BIM. Ele também indica funções e responsabilidades dos *stakeholders*, que deverão acompanhar e monitorar o progresso de acordo com

o estabelecido. O desenvolvimento, atualização e correção constantes em todas as fases do projeto são essenciais para obter o máximo benefício da implementação BIM.

BUS RAPIT TRANSIT (BRT)

Segundo o IBGE (2024) [7], o Brasil possui uma população de 212.583.750, sendo 11.895.578 residentes da cidade de São Paulo, ou seja, 5% da população total do país. A maior cidade do Brasil tem uma média diária de pessoas transportadas (dias típicos) de 2.494.063 e conta com uma frota de 13.339 ônibus, conforme dados do Observatório de Mobilidade Segura de São Paulo [8].

O projeto do BRT para a cidade de São Paulo está apoiado no PlanoMob/SP 2015 que é um instrumento de planejamento do Sistema Municipal de Mobilidade Urbana e tem como conceitos a serem implantados: A acessibilidade; Mobilidade; Acessibilidade Universal; Mobilidade Urbana; Viagem e Modo de transporte, além disso, o plano classifica corredores de transporte público em 6 categorias, sendo a "categoria I [...] um conjunto de características similares ao chamado *Bus Rapid Transit* ou simplificadamente, BRT"[9].

O Ministério das Cidades [10] reitera um problema persistente atualmente, que é a desistência de implantação de transporte público de qualidade, dando lugar e prioridade ao transporte individual, sendo o Bus Rapid Transit (BRT) uma solução de sucesso e que pode ser vista em cidades como Curitiba, Bogotá e Brisbane. Vale destacar que o *Bus Rapid Transit* (BRT) possui características distintas de uma faixa de ônibus.

Segundo o ITDP [11], a implantação de BRT quadriplicou nos últimos anos, além disso houve a implementação de análise e certificação para padrão de qualidade BRT, que define quatro categorias: Ouro, Prata, Bronze ou Básico, sendo 100 pontos o necessário para atingir o nível máximo.

O BRT DE SÃO PAULO

O projeto da estação BRT adota uma abordagem modular, o que proporciona eficácia na manutenção ao longo de sua operação, agilidade no processo construtivo e estimula a padronização dos materiais. A busca por uma cidade mais inteligente passa pela adoção da modelagem em BIM, utilizando gêmeos digitais que facilitam a manutenção e operação. Quanto mais equipamentos, edifícios e mobiliários forem modelados como projetos padrão em nível 6D, mais próxima estará a cidade de alcançar esse objetivo, consolidando uma infraestrutura inteligente e integrada

Todos os elementos da estação foram modelados, utilizando da definição de LOD (*Level of Definition*), traduzido como "nível de definição", sugeridos no Caderno 11 BIM de Curitiba, que adota o termo Nível de detalhe (ND) E nível de informação (NI), para o que segue no Quadro 1 e no Quadro 2:

Quadro 1: Definição de nível de detalhe

ND 1	Ilustração genérica bidimensional
ND 2	Geometria genérica com dimensões não definidas
ND 3	Geometria definida com dimensões específicas
ND 4	Elementos que possuem ligação entre si ou com disciplinas distintas
ND 5	Detalhamento para fabricação

Quadro 2: Definição de nível de informação

NI 1	identificação
NI 2	análise e simulação
NI 3	orçamentação
NI 4	operação e manutenção

PROJETO PADRÃO BIM

Um projeto padrão BIM é um conjunto de modelos digitais que, através de uma estrutura organizada é capaz de garantir consistência e a qualidade do trabalho final. Além disso, usar um projeto padrão pode economizar tempo, evitar a repetição de tarefas e facilitar a manutenção do projeto no futuro, com a possibilidade, inclusive, da criação de um gêmeo digital.

A utilização de um projeto padrão para construções que serão repetidamente replicadas na cidade, facilita a padronização em diferentes projetos, garantindo consistência na qualidade e no resultado, reduz o tempo projetual, pois elementos do modelo padrão poderão ser reutilizados, ajuda a identificar e resolver conflitos de compatibilização, facilita a criação de documentação, oferece uma visualização tridimensional, além de possibilitar a inclusão de informações sobre eficiência energética e periodicidade de manutenção.

Para cada implantação, haverá especificidades únicas que serão tratadas individualmente, como por exemplo as características do solo, localização, parâmetros ambientais e topografia. O projeto padrão busca esclarecer questões construtivas e que garantirão uma maior eficiência tanto na montagem quanto na execução, além de garantir unidade na cidade.

É importante reforçar que optar por um projeto padrão em BIM não exime a necessidade de análise do local em que a estação será implantada, ou seja, pode ser necessário alterações no projeto após implantação no terreno. Esses fatos não diminuem a importância de pensarmos em padronização e modelagem, pois é através da disseminação desta metodologia, que conseguiremos planejar cidades inteligentes e sustentáveis, além de possibilitar da existência de gêmeos digitais.

Tendo como base as normativas e recomendações existentes, antes de iniciar uma modelagem é necessário um planejamento estratégico operacional que responda os 5W2H: O que será feito, por que será feito? Onde será feito? Quando será feito? Por quem será feito? Como será feito? Quanto vai custar?

Utilizou-se para a modelagem do projeto padrão o seguinte fluxo:

1. Construção do PEB;
2. Criação de parâmetro compartilhado;
3. Preenchimento dos requisitos de troca de informação (EIR), definindo os responsáveis pela exportação da informação geométrica e atribuindo codificação para cada elemento a ser modelado;
4. Elaboração do requisito de informação de projeto (PIR), definido o nível de detalhe (ND) e o nível de informação (NI) de cada elemento a ser modelado.

Como modelo para preenchimento do fluxo apresentado, o projeto padrão BRT utilizou do template elaborado e apresentado no Caderno 11 BIM de Curitiba, Paraná [12], o que trouxe agilidade e interoperabilidade entre os diversos modeladores e as diferentes disciplinas.

O alinhamento e a organização prévia, foram cruciais para o resultado obtido. O fornecimento do parâmetro compartilhado aos integrantes do projeto, garantiu a extração correta da lista de materiais, uma vez que antes de iniciar a modelagem, já era sabido o código do serviço (com base nas planilhas orçamentárias definidas no PEB) e a unidade de medida aderente a planilha referida, além disso, todas

as informações referente a manutenção e operação do elemento que compõe o projeto, foi analisada previamente à modelagem, o que garantiu a utilização de materiais aderentes a sustentabilidade do projeto.

Ademais, a definição da codificação de cada elemento constante dos requisitos de troca de informação (EIR), garante que cada objeto e/ou elemento, seja caracterizado ainda na fase projetual, podendo esse código se estender durante a instalação, o que facilita a logística de montagem, manutenção e operação.

CONCLUSÃO

O uso da metodologia BIM representa um passo importante em direção a cidades mais inteligentes e sustentáveis. O projeto padrão desenvolvido em BIM promove consistência e qualidade na execução de projetos com escalabilidade urbana, facilitando a replicabilidade e a interoperabilidade. O planejamento estabelecido por meio de um fluxo prévio de trabalho organizado é essencial para garantir consistência e eficácia no gerenciamento do ciclo de vida do projeto, desde sua concepção até a operação.

O planejamento baseado no modelo 5W2H, permite uma compreensão abrangente de todos os aspectos necessário antes do início da modelagem, facilitando a definição dos requisitos de informação da organização (OIR), do projeto (PIR), do ativo (AIR) e de troca de informação (EIR). A definição dos parâmetros compartilhados, garante a extração precisa de listas de materiais e possibilitam a antecipação de soluções para eventuais conflitos construtivos e operacionais.

Todos esses processos são essenciais para reduzir custos e aumentar a qualidade, mas também são o caminho para a construção de cidades inteligentes e sustentáveis, onde a modelagem padrão pode ser replicada, integrando-se ao conceito de gêmeos digitais.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. Decreto Nº 10.306, de 2 de abril de 2020. Estabelece a utilização do Building Information Modelling. Brasília, DF, 2 abr. 2020.

[2] BRASIL. Lei Nº14.133, de 1 de abril de 2021. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Brasília, DF, 1 abr. 2021.

[3] BRASIL. Decreto Nº11.888, de 1 de abril de 2021. Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil - Estratégia BIM BR e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling - BIM BR. Brasília, DF, 22 jan. 2024.

[4] Usos do BIM no mundo. Sienge. 2024? Disponível em: https://www.sienge.com.br/infografico-bim-no-mundo/?utm_source=cpc_google-search-ads&utm_medium=cpc&utm_content=plataforma&utm_campaign=f4-p1p2p3-always-on-dinamico&utm_term=brand-ads-dinamic&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwveK4BhD4ARIsAKy6pMJY9HQuVbU8nFTku-fpEHUOd0cb2sjfF58N1R5GPHv_t78qcoyUe04aAk5UEALw_wcB. Acesso em: 18 outubro 2024.

[5] BONATTO, H. BIM para obras públicas. 1. ed. COM Treinamentos, 2021.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISSO 19650-1: Organização da informação acerca de trabalhos da construção — Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção Parte 1: Conceitos e princípios. Rio de Janeiro, 2006.

[7] IBGE, 2024. Estimativas da população residente no brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2024. Disponível em:

https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2024/estimativa_dou_2024.pdf. Acesso em: 15 outubro 2024.

[8] SÃO PAULO, 2024. Observatório de Mobilidade Segura de São Paulo. Disponível em: http://mobilidadesegura.prefeitura.sp.gov.br/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=Painel_Mobilidade_Segura.qvw&host=QVS%40c65v27i&anonymous=true. Acesso em: 14 outubro 2024.

[9] SÃO PAULO, 2015. p.68. PlanMob/SP 2015 - Plano de Mobilidade de São Paulo. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/planmobsp_v072__1455546429.pdf. Acesso em: 14 outubro 2024.

[10] BRASIL, 2007. Ministério das cidades. Manual de BRT: Bus Rapid Transit. Esta publicação é a tradução a partir da 3ª edição (junho de 2007) do BRT Planning Guide. Disponível em: http://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/297.

[11] Sistemas de BRT quase quadruplicam nos últimos dez anos e viram tendência mundial. ITDP. 2015. Disponível em: https://itdpbrasil.org/sistemas-de-brt-quase-quadruplicam-nos-ultimos-dez-anos-e-viram-tendencia-mundial/. Acesso em: 14 outubro 2024.

[12] Paraná, 2023. Caderno BIM - Edificações. Disponível em: https://www.bim.pr.gov.br/Pagina/Cadernos-BIM. Acesso em: 1 agosto 2024.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Estratégias para potencializar a adoção do BIM em empreendimentos ferroviários: um estudo de caso

Strategies to enhance the adoption of BIM in railway projects: a case study

Cibele Alves da Silva | CPTM | cibele.alves@cptm.sp.gov.br | 0009-0005-3689-5445
André Farhud de Andrade | CPTM | andre.farhud@cptm.sp.gov.br |
Cleivan Augusto Bianchin | CPTM | cleivan.bianchin@cptm.sp.gov.br |

DOI: 10.5281/zenodo.14474987

Resumo

O transporte ferroviário é um dos principais vetores de modernização da infraestrutura no Brasil, conforme destacado no Plano Nacional de Logística (PNL) 2035. A adoção do *Building Information Modeling* (BIM) nesse contexto exige estratégias específicas de implementação devido à complexidade intrínseca e o grande vulto dos empreendimentos. A implementação da metodologia BIM no setor ferroviário, iniciada há mais de uma década, trouxe relevantes avanços na modernização da gestão de projetos. Contudo, a implementação inicial focou mais na adoção tecnológica do que no desenvolvimento de processos padronizados e na criação de uma estrutura de governança robusta, que são importantes para o sucesso de empreendimentos de grande porte. Sem processos estruturados e uma gestão centralizada, os projetos ficam sujeitos a erros, retrabalhos e desperdício de recursos. Este trabalho visa propor estratégias para maximizar o uso do BIM no setor ferroviário, com foco na gestão da informação e na padronização dos processos. A pesquisa qualitativa adotada neste trabalho foi baseada em um estudo de caso real de empreendimentos ferroviários, envolvendo uma análise documental das práticas atuais de implementação do BIM e complementada por entrevistas com especialistas do setor. O estudo de caso permitiu avaliar modelos de governança que destacam a importância de um framework de implementação para a integração bem-sucedida do BIM. A análise SWOT foi aplicada ao contexto ferroviário, identificando as principais forças e fraquezas na adoção atual do BIM, assim como as oportunidades e ameaças relacionadas à sua expansão. Além disso, indicadores-chave de desempenho (KPIs) foram propostos para monitorar a maturidade do BIM e avaliar o impacto das novas estratégias de implementação propostas, permitindo uma análise mais detalhada de sua eficácia no setor ferroviário. Os resultados indicam que a adoção de um Ambiente Comum de Dados (CDE) proporcionou uma melhoria significativa na eficiência dos projetos e na colaboração entre equipes. A implementação de processos padronizados, aliados à integração com sistemas de gestão como ERP, pode contribuir para uma redução nos retrabalhos e uma otimização de recursos. A capacitação contínua das equipes foi identificada como um fator importante para garantir o domínio do BIM. A padronização dos processos e a criação de uma estrutura de governança centralizada são essenciais para garantir eficácia da adoção BIM em empreendimentos ferroviários. Sem uma estrutura clara de gestão das informações e comunicação, o BIM pode não atingir seu potencial máximo. Além disso, o uso de KPIs e relatórios mensais facilita o monitoramento da maturidade do BIM, permitindo o monitoramento e correção de desvios em tempo real e garantindo que as metas de qualidade e prazo sejam atingidas. Esses resultados reforçam a importância de uma

abordagem integrada e estratégica, onde a gestão da informação e a interoperabilidade entre sistemas são elementos centrais para o sucesso a longo prazo. As estratégias para potencializar a adoção do BIM em empreendimentos ferroviários destacam a importância de uma abordagem integrada e padronizada. A implementação de uma governança eficiente, processos claros e capacitação contínua das equipes são essenciais para maximizar os benefícios do BIM. Esses resultados demonstram que a adoção plena do BIM depende de uma gestão eficiente e integrada dos dados e processos, especialmente no setor ferroviário, onde a complexidade dos projetos exige precisão e colaboração contínua, promovendo resultados favoráveis.

Palavras-chave: Gestão da Informação. Infraestrutura Ferroviária. BIM. Estratégia de Implementação. Governança.

Abstract

Rail transport is one of the primary drivers of infrastructure modernization in Brazil, as highlighted in the National Logistics Plan (PNL) 2035. The adoption of Building Information Modeling (BIM) in this context requires specific implementation strategies due to the intrinsic complexity and large scale of the projects involved. The implementation of the BIM methodology in the railway sector, initiated more than a decade ago, has led to significant advances in project management modernization. However, the initial implementation focused more on technological adoption than on developing standardized processes and establishing a robust governance structure, both of which are essential for the success of large-scale projects. Without structured processes and centralized management, projects are prone to errors, rework, and resource wastage. This study aims to propose strategies to maximize BIM use in the railway sector, with an emphasis on information management and process standardization. The qualitative research conducted in this study was based on a real case study of railway projects, involving a documentary analysis of current BIM implementation practices and complemented by interviews with industry experts. The case study allowed for the evaluation of governance models that underscore the importance of an implementation framework for the successful integration of BIM. A SWOT analysis was applied to the railway context, identifying the main strengths and weaknesses in the current BIM adoption, as well as the opportunities and threats associated with its expansion. Additionally, key performance indicators (KPIs) were proposed to monitor BIM maturity and evaluate the impact of the new proposed implementation strategies, enabling a more detailed analysis of its effectiveness in the railway sector. The findings indicate that the adoption of a Common Data Environment (CDE) provided a significant improvement in project efficiency and team collaboration. The implementation of standardized processes, combined with integration with management systems such as ERP, can contribute to a reduction in rework and resource optimization. Continuous training of the teams was identified as a crucial factor in ensuring proficiency in BIM. The standardization of processes and the creation of a centralized governance structure are essential to ensure effective BIM adoption in railway projects. Without a clear structure for information management and communication, BIM may not reach its full potential. Furthermore, the use of KPIs and monthly reports facilitates BIM maturity monitoring, allowing for real-time deviation tracking and corrections, ensuring quality and timeline goals are met. These findings underscore the importance of an integrated and strategic approach, where information management and system interoperability are central elements for long-term success. The strategies to enhance BIM adoption in railway projects emphasize the importance of an integrated and standardized approach. Implementing effective governance, clear processes, and continuous team training are essential to maximize the benefits of BIM. These results demonstrate that full BIM adoption depends on efficient and integrated data and process management, especially in the railway sector, where project complexity requires precision and continuous collaboration, promoting positive outcomes.

Keywords: Information Management. Railway Infrastructure. BIM. Implementation Strategy. Governance.

INTRODUÇÃO

A modernização da infraestrutura ferroviária tem sido uma prioridade para muitos países em desenvolvimento, onde o transporte ferroviário se posiciona como um tema estratégico para a expansão econômica e para soluções de mobilidade. No Brasil, o Plano Nacional de Logística (PNL) 2035 projeta a ampliação e atualização da infraestrutura ferroviária como um dos principais vetores para impulsionar o desenvolvimento do país, aumentando a capacidade de transporte de cargas e passageiros e reduzindo as emissões de carbono associadas ao transporte rodoviário [1]. O cenário

internacional também tem demonstrado a relevância de uma infraestrutura ferroviária eficiente, com investimentos consideráveis em tecnologia e metodologias avançadas de gestão para otimizar a construção e a manutenção de ativos ferroviários [2].

Projetos ferroviários são caracterizados por desafios técnicos complexos que se estendem do planejamento à operação e estão sujeitos a restrições ambientais e fundiárias que, em muitos casos, podem comprometer sua viabilidade. Além disso, fatores políticos desempenham um papel crucial, influenciando tanto a alocação de recursos quanto as prioridades estabelecidas nos planos governamentais. Devido à abrangência desses empreendimentos e seu impacto econômico e social, é necessário adotar abordagens de gestão que assegurem precisão, eficiência e adaptabilidade, permitindo que esses projetos respondam de maneira ágil às mudanças tecnológicas e regulatórias [3].

Nesse contexto, a metodologia *Building Information Modeling* (BIM) mostra-se relevante para o setor ferroviário e de infraestrutura, pois permite uma modelagem detalhada e integrada que vai além das representações tradicionais em 3D. A metodologia BIM no setor ferroviário, vem evoluindo de fato para incorporar novas dimensões – como tempo (4D) e custos (5D) – que ampliam a sua aplicação para o planejamento e estudos financeiros. Esta expansão da metodologia BIM, possibilita o controle financeiro detalhado e a integração de dados entre as várias fases de um empreendimento [4, 5]. No entanto, estudos indicam que, sem uma governança adequada e processos padronizados, a implementação do BIM pode não atingir seu potencial máximo, resultando em desafios como retrabalho, inconsistências e dificuldades na integração e principalmente na gestão da informação [6].

No Brasil, a implementação do BIM no setor ferroviário iniciou-se com foco nos aspectos tecnológicos e operacionais da modelagem, sem uma estrutura de governança que garantisse a padronização dos processos e a interoperabilidade dos sistemas ao longo de todo o ciclo de vida do projeto [7]. Embora a utilização de modelos 3D tenha facilitado a visualização e o planejamento inicial, a ausência de uma governança robusta e de processos estruturados resultou em dificuldades na coordenação e compartilhamento de informações, além de problemas com a rastreabilidade dos dados, necessários para a gestão eficiente dos ativos e custos [8]. Esses desafios ressaltam a necessidade de desenvolver um framework de governança que otimize a gestão da informação e integre ferramentas como o Ambiente Comum de Dados (CDE), promovendo a comunicação e colaboração entre equipes e partes interessadas.

A literatura internacional oferece exemplos de como a integração do BIM com uma estrutura de governança efetiva pode promover a eficiência e a precisão dos projetos. Em empreendimentos ferroviários de grande escala, como o projeto Crossrail em Londres, o uso do BIM 5D, associado a um CDE, contribuiu para a economia de custos, aumento da produtividade e maior confiabilidade na tomada de decisões [9]. Pesquisas recentes sobre a aplicação do BIM 5D indicam que o sucesso da metodologia está diretamente relacionado à implementação de uma estrutura organizacional que sustente a interoperabilidade e permita a atualização constante dos modelos ao longo do ciclo de vida dos projetos, sendo a gestão da informação um elemento central para esses resultados [10].

O presente estudo propõe um modelo de governança para potencializar o uso do BIM no setor ferroviário brasileiro, considerando as especificidades locais e os desafios identificados em implementações anteriores. Baseado em um estudo de caso de empreendimentos ferroviários, complementado por entrevistas com especialistas e uma análise SWOT, este artigo apresenta estratégias para a integração bem-sucedida do BIM com foco em governança e padronização dos processos. Além disso, o estudo utiliza indicadores-chave de desempenho (KPIs) para avaliar a maturidade do BIM e o impacto das novas estratégias na eficiência e controle de custos do projeto [10]. Dessa forma, este artigo busca contribuir para o avanço do uso do BIM no setor ferroviário, promovendo uma abordagem integrada e centrada na gestão de informação, com o objetivo de

aumentar a confiabilidade, eficiência e colaboração em projetos complexos, a partir de um estudo de caso.

MÉTODO

Este estudo foi realizado na Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), com foco na implementação e maturidade do BIM para a gestão de informações em empreendimentos de grande vulto. A pesquisa tem como objetivo propor e avaliar estratégias que potencializem o uso do BIM, especialmente o Ambiente Comum de Dados (CDE), e a padronização de processos no setor ferroviário.

A abordagem metodológica é qualitativa e exploratória, dividida em três etapas principais: (1) coleta e análise documental dos dados sobre a implementação do BIM, (2) aplicação da análise SWOT para identificar forças, fraquezas, oportunidades e ameaças relacionadas ao uso do BIM, e (3) avaliação do impacto das estratégias propostas por meio de indicadores-chave de desempenho (KPIs).

PARTICPANTES E COLETA DE DADOS

A coleta de dados envolveu três fases de pesquisa realizadas entre junho e outubro de 2024, permitindo uma visão evolutiva sobre a adoção do BIM na organização.

- Primeira Pesquisa – Realizada em junho de 2024, esta pesquisa foi aplicada via formulário digital e contou com 31 respondentes, incluindo engenheiros, arquitetos e gestores de projetos da empresa. O objetivo foi avaliar a percepção inicial dos profissionais sobre a gestão da informação e o uso do BIM nos projetos ferroviários.
- Segunda Pesquisa – Aplicada em setembro de 2024, também por meio de formulário digital, com 17 participantes da mesma empresa. Esta etapa buscou aprofundar as questões relacionadas à eficácia do CDE, à interoperabilidade das ferramentas de BIM e à colaboração entre equipes.
- Relatório de Uso de Software – Emitido em outubro de 2024, este relatório foi elaborado com base nos registros de uso de software e incluiu 116 usuários. Os dados coletados forneceram informações sobre a frequência de utilização, funcionalidades mais utilizadas e desafios técnicos.

ANÁLISE SWOT

A análise SWOT, originada nos anos 1960 por Albert Humphrey em estudos na Universidade de Stanford, é uma ferramenta estratégica que auxilia na identificação de fatores internos e externos que impactam projetos e organizações. A sigla SWOT representa quatro componentes fundamentais: S (*Strengths*) Forças, W (*Weaknesses*), Fraquezas, O (*Opportunities*) Oportunidades e T (*Threats*) Ameaças. Esses elementos ajudam a estruturar uma visão ampliada, facilitando a tomada de decisões ao destacar áreas de vantagem competitiva, potenciais desafios internos e oportunidades ou ameaças no ambiente externo.

Para identificar fatores críticos relacionados à implementação do BIM neste estudo de caso, aplicou-se a análise SWOT com base nas percepções coletadas durante as três fases de pesquisa.

INDICADORES-CHAVE DE DESEMPENHO (KPIS)

Para monitorar a eficácia das estratégias de implementação do BIM e a evolução da maturidade da gestão de informações, sugere-se o uso de KPIs, adaptados ao contexto da empresa.

Sugere-se uma coleta de dados para cada KPI a ser realizada continuamente ao longo do ciclo de vida dos projetos, permitindo um monitoramento detalhado e ajustes nas estratégias implementadas conforme o contexto.

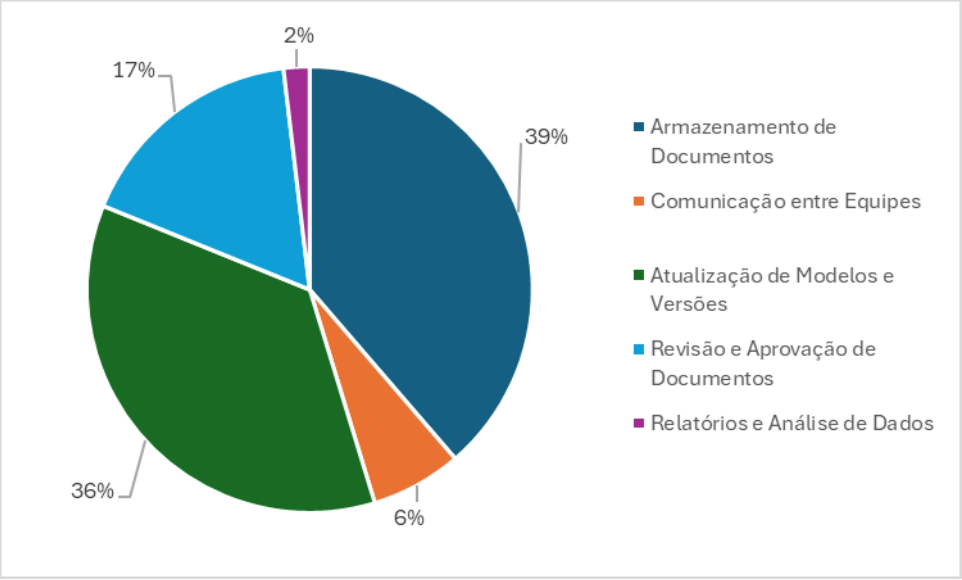
RESULTADOS

Os resultados da pesquisa revelaram que o uso do BIM na empresa de transporte ferroviário é amplamente reconhecido pelos profissionais, com 82% dos respondentes relatando uma percepção positiva sobre a capacidade do BIM em melhorar a gestão de informações. No entanto, também foram observadas lacunas, como a necessidade de maior padronização e interoperabilidade. Como resposta, a revisão do Caderno BIM está sendo implementada para alinhar as práticas da empresa às melhores normas técnicas, promovendo consistência na modelagem e gestão de dados ao longo do ciclo de vida dos projetos.

IMPACTO DO CDE NA GESTÃO DA INFORMAÇÃO

A adoção do CDE demonstrou ser um elemento essencial para a colaboração interdisciplinar. Dos respondentes, 64% observaram uma redução significativa no retrabalho e uma melhoria no tempo de acesso a informações críticas do projeto. A implementação do Manual de Uso do CDE visa reforçar esse benefício, oferecendo diretrizes claras sobre o uso do CDE em todas as etapas do ciclo de vida dos empreendimentos, garantindo uma atualização centralizada e acessível de dados e promovendo a integração das equipes e melhoria na disponibilização e gestão de todas as informações do projeto. O gráfico 1 a seguir ilustra a distribuição percentual do uso das principais funcionalidades do CDE, como armazenamento de documentos, comunicação entre equipes, atualização de modelos, revisão e aprovação de documentos, e geração de relatórios. Essa visualização possibilita identificar as funções mais utilizadas e de maior relevância na rotina dos profissionais, evidenciando as áreas em que o CDE impacta diretamente a gestão de informações e apontando possibilidades de melhorias para potencializar o uso do BIM no contexto dos projetos ferroviários.

Gráfico 1 - Distribuição de Uso de Funcionalidades do CDE

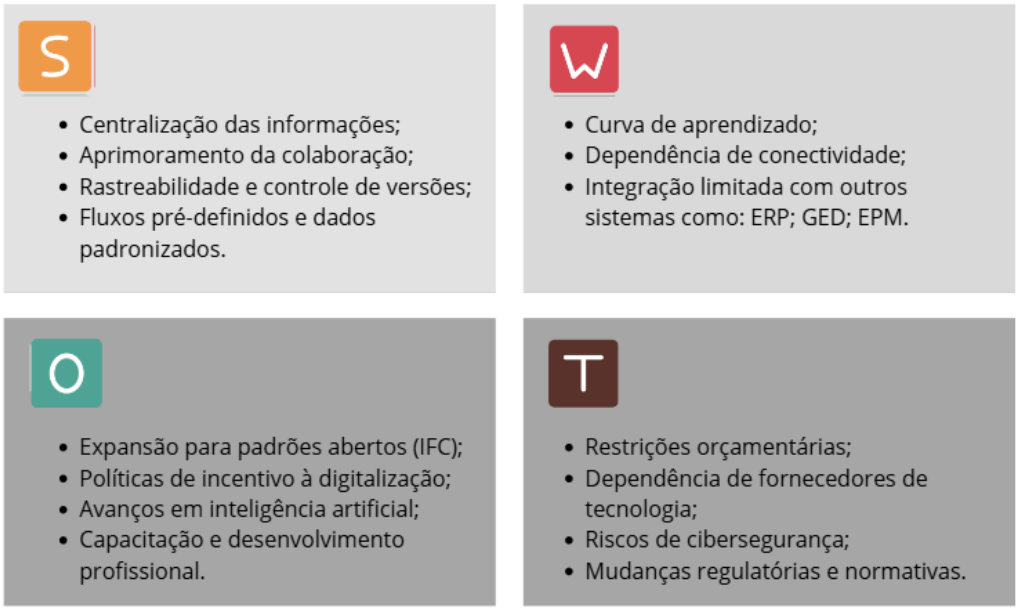


Fonte: Os autores.

ANÁLISE SWOT

A aplicação da análise SWOT destacou forças, fraquezas, oportunidades e ameaças importantes na gestão das informações BIM deste estudo e podem ser visualizadas na Figura 1 abaixo:

Figura 1 – Análise SWOT Aplicada ao Contexto Dos Projetos Ferroviários



Fonte: Os autores, 2024.

- Análise Interna (Forças e Fraquezas): As forças internas do uso do CDE na gestão de empreendimentos incluem a centralização das informações, que facilita o acesso e atualização de dados, além do aprimoramento da colaboração entre equipes. O CDE também oferece rastreabilidade e controle de versões, o que permite que todos os envolvidos no projeto trabalhem com dados atualizados, evitando retrabalhos. Outro ponto positivo é a existência de fluxos pré-definidos e dados padronizados, promovendo uniformidade nas práticas. No entanto, há fraquezas que precisam ser consideradas, como a curva de aprendizado necessária para a familiarização com o sistema, o que exige treinamento contínuo. A dependência de conectividade também foi um fator levantado. Além disso, a integração limitada com outros sistemas, como ERP, GED e EPM, compromete a interoperabilidade das informações entre plataformas.
- Análise Externa (Oportunidades e Ameaças): Externamente, o cenário oferece oportunidades relevantes para a expansão do CDE. A adoção de padrões abertos, como o IFC, aumenta a compatibilidade do sistema com outras ferramentas, fomentando a interoperabilidade. Políticas de incentivo à digitalização promovidas pelo governo também são uma vantagem, pois favorecem o financiamento e a implementação de tecnologias no setor ferroviário. Além disso, os avanços em inteligência artificial oferecem potencial para otimizar processos de análise e gestão de dados no CDE. A capacitação e desenvolvimento profissional das equipes, incentivados pela digitalização, representam um benefício adicional. Em contrapartida, o uso do CDE enfrenta ameaças, como as restrições orçamentárias e ações de contingenciamento que limitam o investimento contínuo em tecnologia. A dependência de fornecedores específicos pode afetar a flexibilidade e escalabilidade da solução. Riscos de cibersegurança podem tornar o CDE vulnerável a ataques, e mudanças regulatórias exigem adaptações constantes para manter a conformidade com normas e diretrizes vigentes.

Essas informações guiaram o desenvolvimento de estratégias sugeridas para potencializar a adoção do BIM, aproveitando o impacto positivo do CDE e promovendo uma governança mais aderente aos projetos.

INDICADORES-CHAVE DE DESEMPENHO (KPIS)

Embora os KPIs ainda não tenham sido testados, eles foram propostos como medidas para monitorar o progresso da maturidade do BIM. Os KPIs demonstrados na Figura 2 e aqui recomendados incluem:

Figura 2 – Proposta de KPIs



Fonte: Os autores.

Esses indicadores são importantes para avaliar a eficácia das estratégias sugeridas e o impacto real das iniciativas relacionadas ao BIM e precisam ser calculados com base nos seguintes objetivos e fórmulas, conforme demonstrado na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Objetivos e Determinação dos KPIs

KPI	Objetivo	Fórmula
Frequência de Uso do CDE (Fu)	Avaliar a frequência com que o CDE é acessado pelos usuários, indicando o nível de dependência e uso regular da plataforma.	Fu = (Número de acessos ao CDE por usuário em um período / Total de dias úteis no período) * 100
Percentual de Funcionalidades Utilizadas (Pf)	Medir a variedade de funcionalidades do CDE que estão sendo usadas regularmente, demonstrando a abrangência de uso da plataforma.	Pf = (Número de funcionalidades utilizadas / Total de funcionalidades disponíveis no CDE) * 100
Percentual de Acessos para Comunicação (Pa)	Mensurar a proporção de acessos ao CDE para atividades de comunicação, indicando o uso do CDE como ferramenta de colaboração.	Pa = (Número de acessos para comunicação / Número total de acessos ao CDE) * 100
Taxa de Finalização de Processos no CDE (Tf)	Avaliar a taxa de conclusão de processos no CDE, como aprovações e revisões de documentos, indicando a eficiência dos fluxos de trabalho.	Tf = (Número de processos concluídos no CDE / Total de processos iniciados no CDE) * 100
Índice de Resolução de Issues no CDE (Ir)	Avaliar a eficácia da equipe na resolução de problemas reportados no CDE.	Ir = (Número de Issues Resolvidas / Total de Issues Abertas) * (Tempo Alvo de Resolução / Tempo Médio de Resolução) * 100

Fonte: Os autores.

ESTRATÉGIAS PROPOSTAS PARA POTENCIALIZAR O USO DO BIM

Com base nas análises e nas oportunidades identificadas, foram propostas estratégias para maximizar o uso do BIM e aprimorar a governança das informações:

- Padronização e Estruturação de Processos: A revisão do Caderno BIM busca garantir a consistência das práticas de modelagem e gestão de dados, oferecendo uma base padronizada e alinhada às melhores

práticas para toda a equipe, incluindo os requisitos da organização, dados sobre o ambiente, gestão da mudança e temas da gestão de projetos.

- Integração de Sistemas e Interoperabilidade: O desenvolvimento do Manual de Uso do CDE aborda práticas uso, integrando o CDE a sistemas complementares com rotinas específicas e promovendo o uso de padrões abertos (como o IFC) para facilitar a continuidade das informações.
- Capacitação Contínua e Adesão ao BIM: A promoção de programas contínuos de treinamento com uma plataforma dedicada ao BIM com trilhas específicas e personalizadas, aderentes aos especialistas, workshops periódicos com o apoio dos novos materiais de referência, garantem um alinhamento uniforme e uma curva de aprendizado acelerada e dinâmica.
- Monitoramento Contínuo: Indicadores propostos podem avaliar constantemente a redução de retrabalho e precisão das estimativas, fornecerão uma visão clara do impacto das práticas BIM, permitindo ajustes estratégicos conforme os dados reais forem coletados.
- Incentivo à Colaboração Interdisciplinar: A promoção de uma cultura de colaboração entre as equipes também precisa ser incentivada, com o Manual de Uso do CDE servindo como guia para padronizar a comunicação entre disciplinas, reduzindo conflitos e aumentando a rastreabilidade dos dados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção do BIM no setor ferroviário apresenta um potencial significativo para modernizar e aprimorar a gestão de empreendimentos de grande escala. A análise dos dados revelou que o uso do BIM e, em particular, do Ambiente Comum de Dados (CDE), contribuiu para uma colaboração mais integrada entre equipes, maior controle sobre a atualização de informações e uma redução perceptível nos retrabalhos. No entanto, foram identificadas áreas de melhoria, como a necessidade de padronização de processos e a superação de desafios de interoperabilidade entre sistemas e equipes.

As ações em andamento, como a revisão do Caderno BIM e o desenvolvimento do Manual de Uso do CDE, são passos importantes para consolidar uma estrutura de governança robusta e alinhada às melhores práticas internacionais. Essas iniciativas proporcionam diretrizes padronizadas e detalhadas para o uso do BIM, otimizando os processos de desenvolvimento que corroboram com o sucesso na gestão dos empreendimentos. A criação e a aplicação gradual de KPIs específicos, como redução de retrabalho e número de issues, são recomendadas para monitorar o impacto real do BIM e fornecer dados para ajustes processuais.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Para ampliar os benefícios do BIM e assegurar sua plena integração nos processos de gestão, sugere-se que as seguintes perspectivas futuras sejam exploradas:

- Avaliação Contínua da Maturidade BIM: A implementação de KPIs para monitoramento contínuo permitirá uma análise detalhada da maturidade do BIM ao longo do tempo. Esse monitoramento será essencial para ajustes contínuos nas práticas e para identificar novas necessidades de treinamento e integração.
- Investimento em Capacitação e Cultura de Inovação: O desenvolvimento contínuo das equipes, com programas de treinamento e capacitação em novas ferramentas e processos BIM, é necessário para garantir o uso eficaz da tecnologia. Incentivar uma cultura de inovação também promoverá a adoção proativa de novas práticas e tecnologias que suportem a evolução do BIM e do CDE.
- Fortalecimento da Interoperabilidade e Integração de Sistemas: O uso de padrões abertos e a compatibilidade com sistemas de gestão e ERP são fatores-chave para garantir a continuidade das informações e a colaboração entre diferentes plataformas e equipes. Investir na integração de sistemas e na adoção de soluções interoperáveis, como o padrão IFC, trará mais flexibilidade e segurança ao fluxo de dados entre as diversas fases do ciclo de vida dos empreendimentos.

- Expansão da Governança e Alinhamento com Normas Internacionais: A revisão contínua do Caderno BIM e do Manual de Uso do CDE, mantendo-os atualizados conforme as melhores práticas internacionais, ajudará a empresa a atender tanto às necessidades operacionais quanto aos requisitos regulatórios do setor ferroviário. Alinhar a governança do BIM às normas internacionais fortalecerá a competitividade e facilitará parcerias e colaborações com outras empresas e setores.
- Incorporação de Tecnologias Avançadas: Tecnologias emergentes, como inteligência artificial e machine learning, poderão futuramente ser exploradas para análise preditiva, identificação de padrões e otimização de processos, inclusive embarcadas nas próprias ferramentas da plataforma BIM. Essas tecnologias podem auxiliar na tomada de decisões, aumentando a precisão e a eficiência ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Plano Nacional de Logística (PNL) 2035. Brasília: Ministério da Infraestrutura, 2021.

[2] EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. *BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.

[3] SILVA, C. A.; MELHADO, S. B.; KUROKAWA, F. A.; AMORIM JUNIOR, L. A. Abordagens híbridas em empreendimentos ferroviários com execução semi-integrada. Revista Ferrovia, n. 185, p. 38, 2024.

[4] BECERIK-GERBER, B.; RICE, S. *The perceived value of Building Information Modeling in the U.S. building industry. Journal of Information Technology in Construction*, v. 15, p. 185-201, 2010.

[5] LOVE, P. E. D.; MATTHEWS, J.; SIMPSON, I.; HILL, A.; OLATUNJI, O. A. *A benefits realization management Building Information Modeling framework for asset owners*. Automation in Construction, v. 37, p. 1-10, 2014.

[6] SUCCAR, B. *Building Information Modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction*, v. 18, p. 357-375, 2009.

[7] KASSEM, M.; SUCCAR, B. *Macro BIM adoption: conceptual structures. Automation in Construction*, v. 57, p. 64-79, 2015.

[8] ARAYICI, Y.; et al. *Building Information Modeling (BIM) for facilities management: the BIM-facilities management integration framework*. Journal of BIM, v. 1, p. 24-40, 2011.

[9] DAVIES, R.; HARTY, C. *Implementing 'Site BIM': a case study of ICT innovation on a large hospital project. Au*tomation in Construction, v. 19, n. 7, p. 862-871, 2010.

[10] EADIE, R.; BROWNE, M.; ODEYINKA, H.; MCKEOWN, C.; MCNIFF, S. BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: an analysis. Automation in Construction, v. 36, p. 145-151, 2013.

[11] GIEL, B.; ISSA, R. R. A. Return *on investment analysis of Building Information Modeling in construction. Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 27, n. 5, p. 511-521, 2013.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Gestão ágil e BIM: análise dos impactos da implementação do BIM em uma empresa de projetos estruturais sob a perspectiva de métricas ágeis

Agile management and BIM: analysis of the impacts of BIM implementation in a structural engineering company from the perspective of agile metrics

Raisa Gonçalves Nunes | RKS Engenharia de Estruturas | raisa.nunes@rks.com.br
João Lucas Kerber | RKS Engenharia de Estruturas | joao.lucas@rks.com.br
Annie Boijink Pereira | RKS Engenharia de Estruturas | annie@rks.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14475009

Resumo

A adoção do BIM tem transformado a gestão de projetos na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Este estudo analisou os impactos da implementação do BIM em uma empresa de projetos estruturais, utilizando três métricas ágeis: *Work in Progress (WIP)*, *Lead Time* e *Throughput*. A combinação entre gerenciamento ágil e BIM visa aumentar a produtividade e melhorar a comunicação entre equipes. Os resultados mostraram que, apesar de identificadas vantagens na implementação do BIM, como eficiência nas revisões e precisão nos quantitativos, surgiram desafios, incluindo um alto número de revisões, baixa maturidade dos modelos BIM, saturação do WIP, afetando o fluxo de trabalho, bem como a falta de procedimentos de controle e treinamento insuficiente. Como resposta, foram propostas melhorias em três níveis: estratégia, produção e gestão do fluxo resultando em ações como o acompanhamento da produção através de um quadro *Kanban* e métricas ágeis, alinhamento de entregáveis, desenvolvimento de *plug-in*s para automação de processos manuais, mudança no fluxo BIM de modelagem e detalhamento da infraestrutura e implementação de auditorias. Essas iniciativas sucederam uma redução de 60% nas reprovações das entregas e um aumento de cerca de 30% no faturamento médio da empresa desde 2023.

Palavras-chave: Métodos Ágeis. Métricas Ágeis. BIM (*Building Information Modeling*).

Abstract

The adoption of BIM has transformed project management in the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) industry. This study analyzed the impacts of BIM implementation in a structural design firm using three agile metrics: Work in Progress (WIP), Lead Time, and Throughput. The combination of agile management and BIM aims to increase productivity and improve team communication. The results showed that, despite identifying benefits in BIM implementation, such as efficiency in reviews and accuracy in quantities, challenges emerged, including a high number of revisions, low maturity of BIM models, WIP saturation affecting workflow, as well as

the lack of control procedures and insufficient training. In response, improvements were proposed at three levels: strategy, production, and flow management, resulting in actions such as monitoring production through a Kanban board and agile metrics, aligning deliverables, developing plugins for automating manual processes, changing the BIM modeling and detailing workflow for infrastructure, and implementing audits. These initiatives led to a 60% reduction in delivery rejections and an approximate 30% increase in the company's average revenue since 2023.

Keywords: Agile Methods. Agile Metrics. BIM (Building Information Modeling).

INTRODUÇÃO

A indústria AEC é frequentemente vista como conservadora em sua adoção de novas tecnologias, mantendo-se apegada a modelos e processos estabelecidos por décadas [1]. No entanto, a utilização do BIM como ferramenta de gestão de projetos já se consolidou como uma realidade mundial [2]. O BIM transcendeu seu papel inicial como uma tecnologia de modelagem tridimensional (3D), evoluindo para uma abordagem integrada que visa gerenciar dados e informações do projeto ao longo de todo o ciclo de vida do edifício [3].

Apesar das vantagens oferecidas pelo BIM, a adoção bem-sucedida dessa metodologia enfrenta desafios significativos. Muitas organizações ainda priorizam o cumprimento de prazos e requisitos, mas, sem um planejamento e gestão da produção eficazes, o cumprimento dos contratos torna-se inviável [4]. A efetividade dos processos é essencial para o êxito em projetos da construção civil, e é nesse contexto que os Métodos Ágeis podem desempenhar um papel fundamental no gerenciamento desses projetos [5]. Embora os Métodos Ágeis tenham surgido inicialmente na indústria de softwares, sua aplicação se estende além da manufatura e do desenvolvimento de sistemas, permitindo que empresas busquem maximizar recursos e gerenciar perdas de forma mais eficiente [6].

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar os impactos da adoção do BIM no fluxo de trabalho de uma empresa de projetos de engenharia, utilizando a análise de três métricas ágeis: *Work in Progress* (WIP), *Lead Time* e *Throughput*. A identificação e a implementação dessas métricas são cruciais, pois permitem uma visão mais clara e precisa do desempenho operacional, ajudando a empresa a enfrentar os desafios inerentes à integração do BIM em seus processos. Ao focar na mensuração do desempenho, este trabalho busca não apenas entender os impactos da implementação do BIM, mas também propor melhorias que visem otimizar o fluxo de trabalho e, consequentemente, os resultados da empresa.

A análise dos resultados permitiu um entendimento mais profundo sobre como a combinação de BIM e métricas ágeis pode transformar a gestão de projetos na indústria AEC, contribuindo para uma abordagem mais eficiente e eficaz, que leve em consideração as especificidades e desafios da implementação dessa nova tecnologia. Com isso, espera-se que as lições aprendidas e as melhorias propostas sirvam como base para futuras iniciativas de adoção do BIM em outras empresas do setor, promovendo uma evolução contínua na prática da arquitetura, engenharia e construção.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste estudo é composta por quatro seções principais: Metodologia BIM, Gestão de projetos em empresas de engenharia, Integração entre Gerenciamento Ágil e BIM e *Frameworks* Ágeis.

METODOLOGIA BIM

O BIM é uma metodologia que vai além das ferramentas e softwares usados na elaboração de projetos e orçamentos na construção civil. Segundo Succar *et al.* (2012), o BIM é um conjunto de interações de políticas, processos e tecnologias que visam gerenciar digitalmente o projeto de um edifício ao longo de seu ciclo de vida.

O uso do BIM tem crescido globalmente, impulsionado pela busca por maior produtividade e eficiência em toda a cadeia de valor da construção [7,8]. No entanto, a sua implementação enfrenta desafios significativos. A resistência à mudança na cultura organizacional [9,1], a dificuldade de compatibilização com cronogramas existentes [8] e a falta de estruturação dos processos e fluxos de informação [2] são barreiras que dificultam a adoção eficaz do BIM.

GESTÃO DE PROJETOS EM EMPRESAS DE ENGENHARIA

Na gestão de projetos tradicional, o foco está no planejamento extensivo, que muitas vezes resulta em documentação excessiva e resistência a mudanças. Esse modelo pode ser ineficaz em projetos com alta incerteza e complexidade, onde a rigidez das abordagens tradicionais apresenta desafios significativos [11]. O Manifesto Ágil, por sua vez, introduziu princípios que priorizam a colaboração e a flexibilidade, promovendo uma cultura de adaptação às mudanças em vez de seguir estritamente um plano [12].

Embora a abordagem ágil tenha se originado no desenvolvimento de softwares, suas práticas são aplicáveis a diversas áreas, incluindo a construção civil [13]. As metodologias ágeis enfatizam a interação entre indivíduos e a entrega de valor ao cliente, permitindo uma resposta mais rápida às necessidades e mudanças ao longo do projeto [14]. A integração do gerenciamento ágil com o BIM propõe uma coordenação multidisciplinar, reduzindo retrabalho e melhorando a comunicação entre as partes envolvidas [15].

INTEGRAÇÃO ENTRE GERENCIAMENTO ÁGIL E BIM

A interseção entre o gerenciamento ágil e o BIM promete uma abordagem mais eficiente para a gestão de projetos, maximizando os benefícios de ambas as metodologias. O BIM, além de servir como um repositório de informações do projeto, transforma a forma como as equipes colaboram e se comunicam, oferecendo uma base sólida para a implementação de práticas ágeis [9,16,17].

Os princípios ágeis podem potencializar os ganhos em fases iniciais do projeto, melhorando a compreensão dos requisitos, a comunicação entre as partes interessadas e a eficácia da equipe [18]. Combinando essas abordagens, é possível não apenas reduzir omissões e retrabalhos, mas também otimizar o tempo e os custos do projeto.

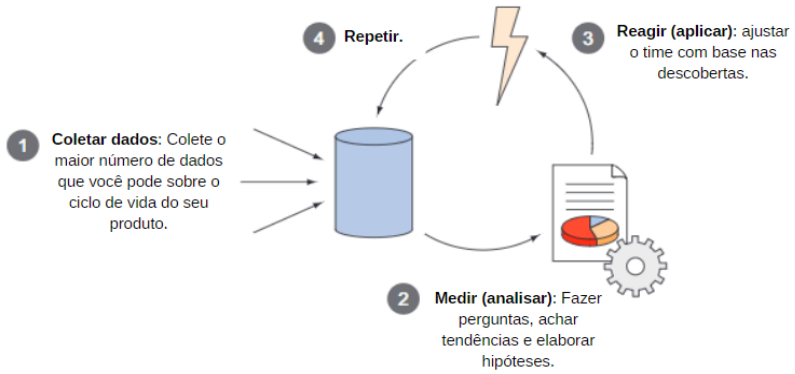
FRAMEWORKS ÁGEIS

O *Kanban* oferece uma transição suave do gerenciamento tradicional para ágil, funcionando como uma abordagem enxuta e um sistema de sinalização visual que integra o processo produtivo [13]. Ele atua como um framework que proporciona uma visualização completa do fluxo de trabalho, identificando gargalos e o trabalho em progresso [13].

Sobre a escolha das métricas, para equipes novas no universo ágil, a análise do *Work in Progress* (WIP), *Lead Time* e *Throughput* é fundamental. O WIP representa trabalhos não concluídos que já geraram custo [13]. O *Throughput* mede o número de entregas concluídas por unidade de tempo, enquanto o *Lead Time* refere-se ao tempo total de um item no processo, essencial para gerenciar prazos de entrega [13].

Para Davis (2015), trabalhar com métricas em um ciclo de feedback (Figura 1) em paralelo ao fluxo de desenvolvimento garantirá decisões mais acertadas ao time e ajudará a melhorar a comunicação de toda a organização.

Figura 1: Ciclo de Feedback



Fonte: Davis (2015).

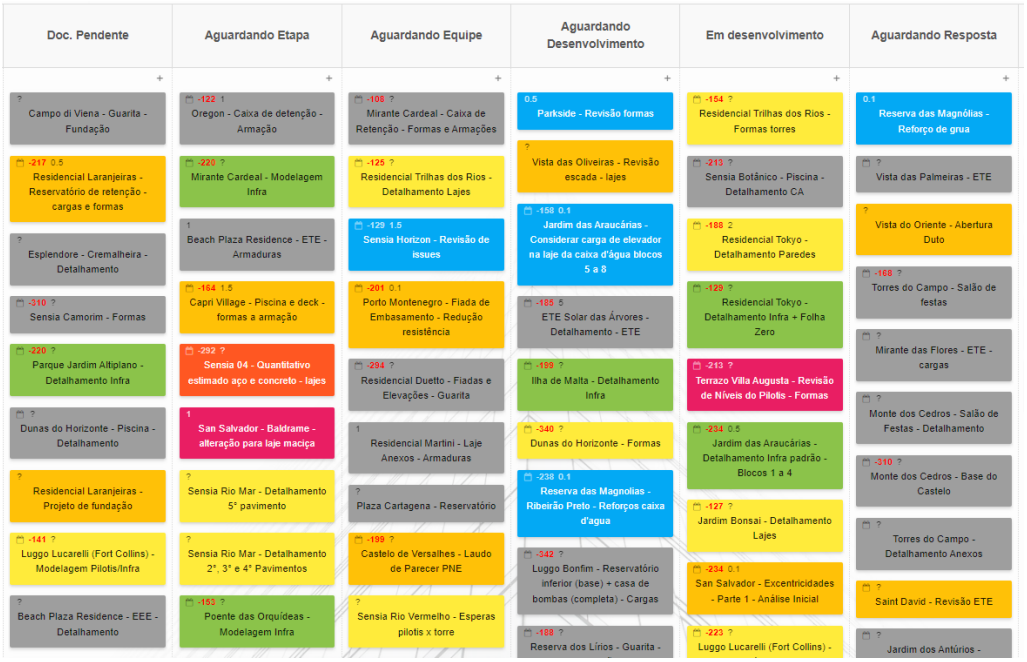
MÉTODOS DE PESQUISA

A pesquisa foi conduzida em uma empresa de projetos estruturais da Grande Florianópolis, que busca a implementação e aperfeiçoamento do BIM há cerca de quatro anos. O estudo utilizou uma abordagem quantitativa e qualitativa, focando na análise dos fluxos de trabalho BIM e CAD, sob a perspectiva de três métricas ágeis: *Work in Progress* (WIP), *Lead Time* e *Throughput*.

Inicialmente, foi realizada uma revisão de literatura abrangente sobre BIM e metodologias ágeis. Em seguida, foi selecionado um dos principais clientes da empresa, a NX Construtora, para análise detalhada. O mapeamento dos fluxos de trabalho nos formatos CAD e BIM foi feito utilizando o software Bizagi, que permitiu a visualização e comparação entre os dois processos.

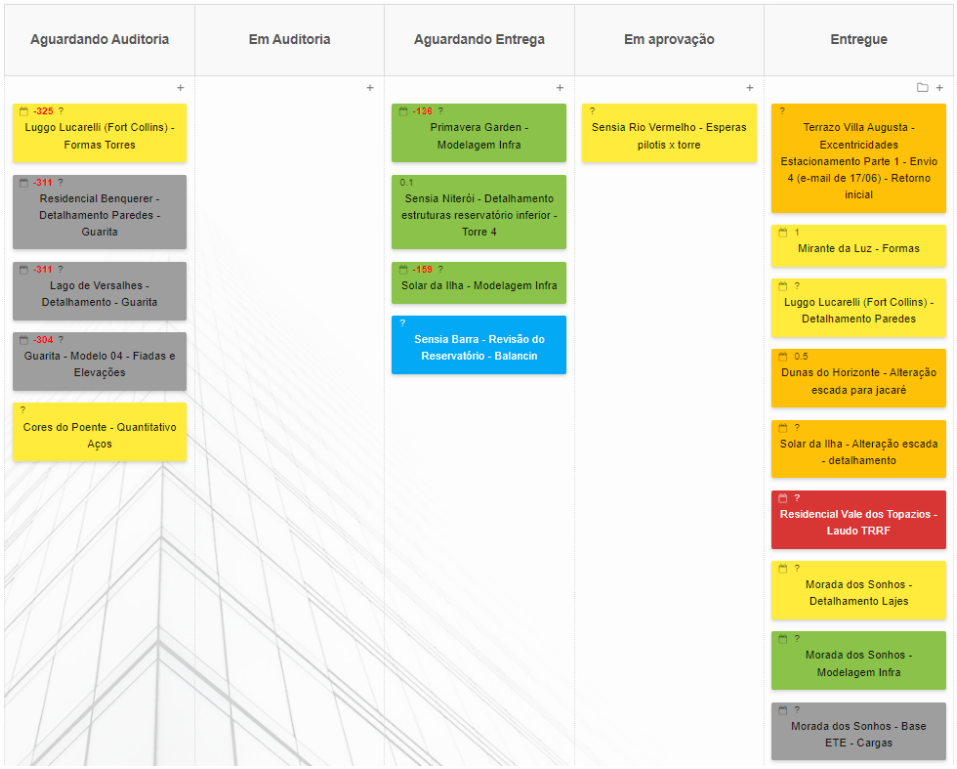
Para coletar dados sobre o desempenho dos fluxos, utilizou-se um quadro Kanban, configurado da seguinte forma (Figuras 2, 3 e 4):

Figura 2 – Etapas do quadro *Kanban* - Parte 1 de 2



Fonte: Os autores (2023)

Figura 3 – Etapas do quadro *Kanban* - Parte 2 de 2



Fonte: Os autores (2023)

Figura 4 - Tipos de cartão



Fonte: Os autores (2023)

As tarefas foram monitoradas semanalmente durante um período de oito semanas, o que permitiu a visualização das etapas de desenvolvimento dos projetos e a identificação de gargalos no processo. As métricas foram aplicadas a partir das orientações de Davis (2015) sobre o ciclo de feedback e a análise dos resultados focou em identificar tendências, dificuldades e oportunidades de melhoria.

Por fim, com base nos resultados obtidos, foram propostas ações de melhoria, como o uso de ferramentas ágeis e treinamentos em BIM, visando otimizar o fluxo de trabalho e reduzir as dificuldades identificadas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

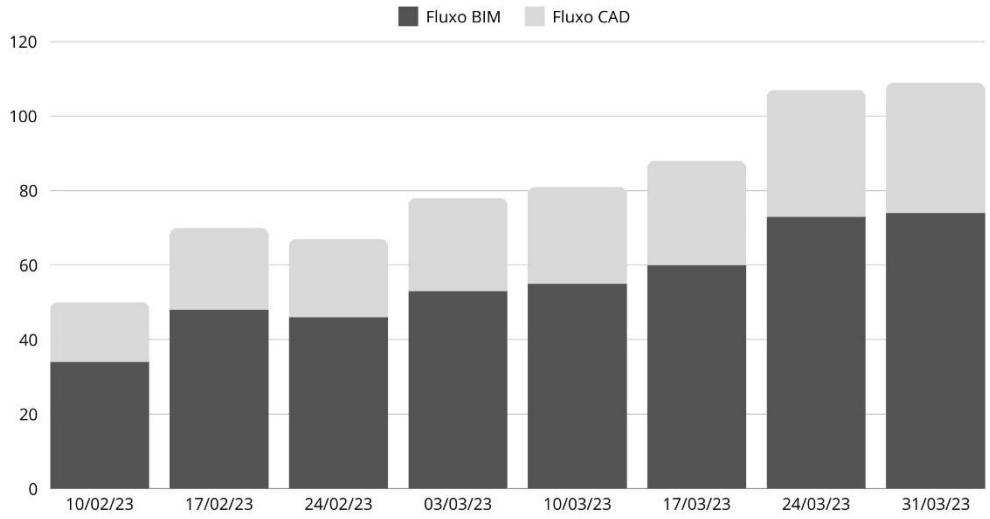
Os resultados deste estudo indicaram que a adoção do BIM trouxe melhorias significativas para o fluxo de trabalho da empresa estudada, especialmente em comparação com o processo anterior, baseado em CAD.

No entanto, também foram identificadas várias dificuldades que impactaram a implementação eficaz do BIM e o desempenho da equipe. A análise das três métricas ágeis – *Work in Progress* (WIP), *Lead Time* e *Throughput* – proporcionou compreensão sobre os pontos fortes e fracos do novo fluxo de trabalho.

ANÁLISE DAS MÉTRICAS

A análise do WIP (Figura5) mostrou que, durante o período de acompanhamento, houve um acúmulo significativo de itens em progresso, o que sobrecarregou a equipe e reduziu a capacidade de entrega.

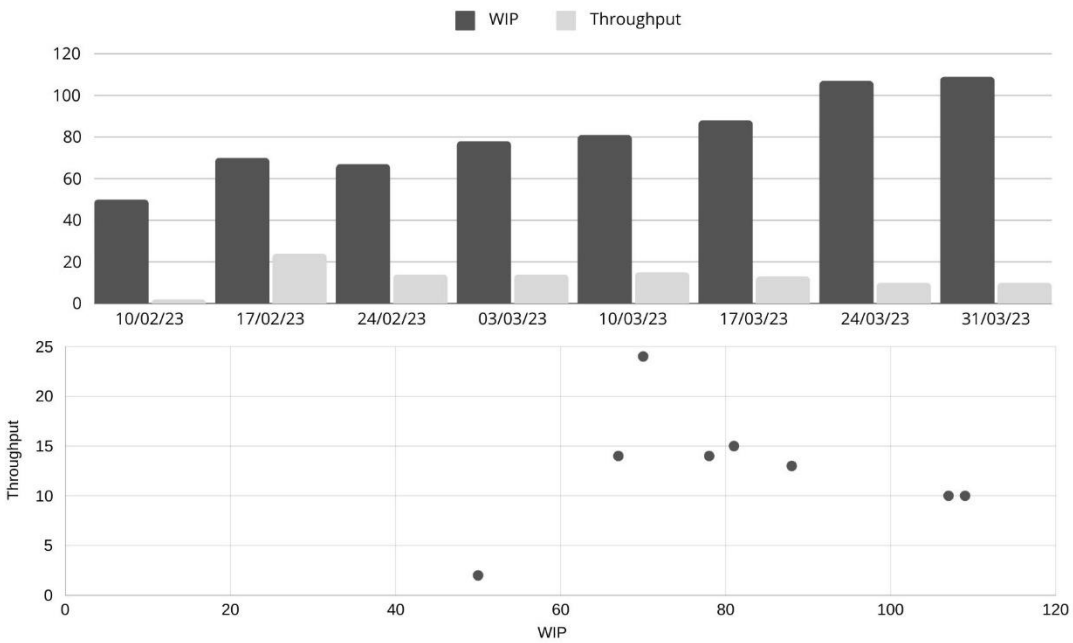
Figura 5: *Work in Progress* (WIP)



Fonte: Os autores (2023)

O excesso de itens em progresso estava diretamente relacionado a falhas no planejamento e na organização das tarefas, resultando em projetos não concluídos permanecendo muito tempo no sistema sem avanço substancial. Como consequência, a taxa de *Throughput* foi baixa, o que afetou a capacidade da empresa de cumprir os prazos acordados com seus clientes.

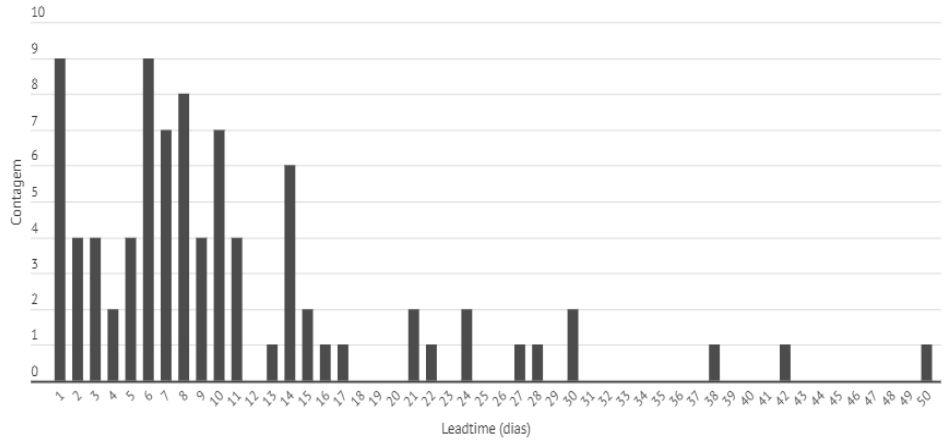
Figura 6: Relação WIP x *Throughput*



Fonte: Os autores (2023)

O *Lead Time* (Figura 7) que mede o tempo total de execução de uma tarefa, também apresentou variações significativas. Em alguns casos, o tempo entre o início e a conclusão de uma tarefa era muito maior do que o previsto, principalmente devido a bloqueios no processo, como a falta de informações completas para dar continuidade a determinadas etapas.

Figura 7: Histograma do *Lead time*



Fonte: Os autores (2023)

VANTAGENS E DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO BIM

Apesar das vantagens da utilização do BIM serem conhecidas, questões como qualidade e métricas estão pouco desenvolvidas quando aplicadas ao sistema [20]. As métricas mais utilizadas no ambiente BIM encontram-se na fase de arquitetura do projeto (61%), seguidos por Engenharia (22%) e Construção (17%), percebe-se ênfase em teorização, avaliação organizacional comparativa de desempenho e produtividade voltadas para o projeto arquitetônico [20]. Como o BIM é conhecido como um processo colaborativo [2,3], torna-se importante a medição de desempenho entre todas as disciplinas de projeto, incluindo o projeto estrutural.

A revisão de literatura identificou que a implementação do BIM enfrenta desafios relacionados à mudança organizacional e de processos [9], dificuldades de compatibilização com cronograma dos contratantes [8], falta de estruturação dos processos, fluxos de informações e protocolos [2] e baixo nível de maturidade das tecnologias de rede e softwares [9].

Na empresa estudada, o fluxo BIM possui vantagens com relação a revisões e quantitativos visto que possui uma automação muito maior, o que faz com que as revisões sejam mais rápidas e assertivas. Ao fazer uma revisão no modelo, as plantas, cortes e quantitativos que compõem a documentação 2D já se alteram automaticamente. O cálculo dos quantitativos no fluxo BIM também é feito de forma automática. Em contrapartida, cada revisão de projeto no Fluxo CAD exige revisão de cotas, quantitativos, níveis e nomenclaturas.

Entretanto, foram identificadas duas principais dificuldades com relação à implementação do BIM: um alto número de revisões e não cumprimento do prazo do cliente. Com relação ao alto número de revisões, identificou-se como possíveis causas: a falta de comunicação entre as partes do projeto, falta de definição dos produtos entregáveis, baixa maturidade dos modelos BIM nas fases iniciais, saturação do WIP, falta de procedimentos de controle e falta de treinamento dos colaboradores para o uso do BIM.

Com relação ao não cumprimento dos prazos, identificou-se como possíveis causas: falta de comunicação entre as partes do projeto, saturação do WIP, falta de recursos para atender o cliente, gargalos no processo, itens de trabalho mal definidos, mudança no escopo de um item ao longo do desenvolvimento e falta de treinamento dos colaboradores para o uso do BIM.

PROPOSTAS DE MELHORIA

Com base nas dificuldades encontradas, propôs-se algumas sugestões de melhoria para o fluxo BIM. A proposta definiu três níveis de melhoria: estratégia, produção e gestão do fluxo. No nível de estratégia, sugeriu-se o alinhamento de escopo e entregáveis com o cliente e um aumento de pelo menos 20% da equipe BIM, através de treinamento e capacitação de pessoal.

Com relação à produção, sugeriu-se a diminuição gradual do processo híbrido (2D e 3D) ao adotar rotinas de trabalho frequentes através de *plug-ins*. Essas rotinas facilitam os detalhamentos de armações que ainda são elaborados em 2D [21]. Outra questão proposta foi a modificação da etapa de trabalho de modelagem da infraestrutura, que era modelada duas vezes, uma pelo engenheiro e outra pelo desenhista responsável pelo modelo 3D que era entregue ao cliente.

Para gestão do fluxo, sugeriu-se a implementação do framework ágil *Kanban*. Entende-se a dificuldade de mudanças bruscas na cultura organizacional, profissionais e processos de projeto [9,10]. Por conta disso, o *Kanban* seria um caminho mais ameno a essa transição [13].

Com relação à análise das métricas, sugeriu-se a limitação do WIP dos principais gargalos do sistema "Aguardando Desenvolvimento", "Aguardando Auditoria" e "Aguardando Entrega". Entende-se que limitar o WIP de todas as etapas pode alterar radicalmente muitas variáveis ao mesmo tempo, sendo que o ideal é começar estipulando limites para as etapas mais críticas [13]. A limitação do WIP pode trazer algumas vantagens como: evitar a formação de gargalos, ajudar a transparecer bloqueios no sistema a todos os agentes envolvidos, aumento da qualidade do produto entregue e diminuição de erros e retrabalhos [13].

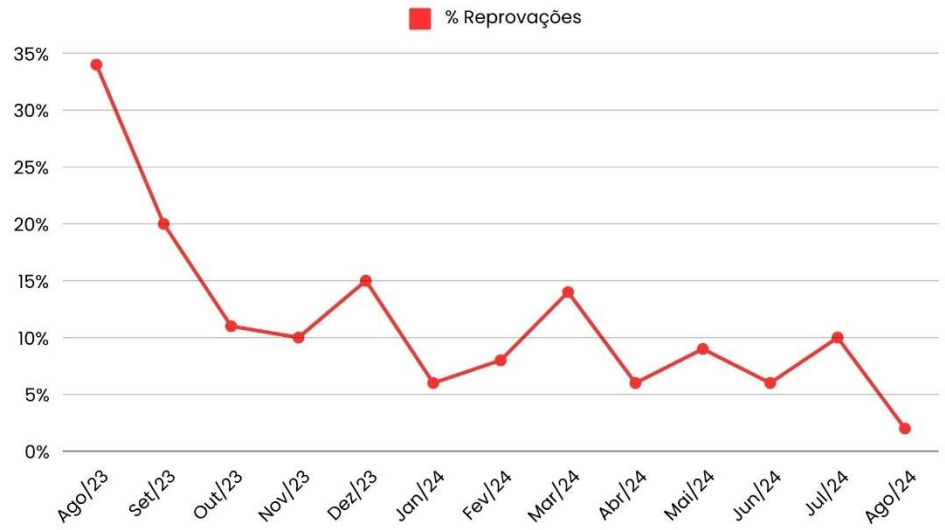
As técnicas de gerenciamento ágil associadas ao BIM resultam em uma estrutura de coordenação multidisciplinar, com a redução de retrabalho e esforços desnecessários decorrentes da falta de comunicação e sequenciamento ineficiente de tarefas [15]. Os métodos ágeis incentivam a inspeção e melhoria contínua [22], portanto trabalhar com métricas em um ciclo de *feedback* em paralelo ao fluxo de desenvolvimento pode garantir decisões mais acertadas ao time e ajudar a melhorar a comunicação de toda a organização.

RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS

Algumas melhorias sugeridas foram implementadas ao longo desse último ano. Dentre outras, tem-se o alinhamento de escopo e entregáveis com o cliente antes do início do projeto, o gerenciamento e treinamento das equipes, acompanhamento da produção por meio de métricas ágeis e o uso do quadro Kanban.

Após a implementação das melhorias sugeridas, observou-se uma série de resultados positivos. Um ano após a adoção das mudanças, a empresa registrou uma redução de 60% nas reprovações das medições enviadas aos clientes (Figura 8). Esse resultado foi relacionado ao alinhamento de escopo e entregáveis com o cliente antes do início do projeto e ao gerenciamento e treinamento das equipes.

Figura 8: Percentual de reprovações



Fonte: Os autores (2023)

Outro resultado positivo foi o aumento de 30% no faturamento médio da empresa. Esse crescimento foi atribuído à maior eficiência na entrega dos projetos e à redução do retrabalho, que liberou mais recursos para a empresa atender a um maior número de contratos.

CONCLUSÃO

O estudo destacou os impactos da adoção do BIM no fluxo de trabalho de uma empresa de projetos estruturais, analisando o processo a partir de três métricas ágeis: *Work in Progress* (WIP), *Lead Time* e *Throughput*. Embora o BIM tenha trazido benefícios significativos, como a automação de revisões e quantitativos, foram identificadas duas principais dificuldades, um alto número de revisões e o não cumprimento do prazo do cliente.

A análise das métricas permitiu identificar gargalos no fluxo de trabalho e propor melhorias estratégicas, de produção e de gestão. Entre as ações sugeridas, destacam-se o alinhamento dos entregáveis com os clientes no início do projeto, gerenciamento e treinamento da equipe e acompanhamento da produção através de métricas ágeis e um quadro *Kanban*.

Um ano após a aplicação dessas medidas, os resultados foram positivos: a empresa reduziu em 60% as reprovações de medições enviadas aos clientes e aumentou seu faturamento médio em 30%, mostrando que a combinação entre BIM e metodologias ágeis pode otimizar significativamente a produtividade e a qualidade dos projetos.

Uma das limitações desta pesquisa foi não considerar o tamanho e a dificuldade das tarefas envolvidas no processo. A análise focou exclusivamente na divisão das atividades por tipo de entrega, sem levar em conta a complexidade ou o esforço necessário para a conclusão de cada tarefa. Essa abordagem pode ter limitado a precisão dos resultados, especialmente em projetos onde a variabilidade na dificuldade das tarefas pode impactar significativamente o tempo e os recursos necessários. Recomenda-se que futuras pesquisas incorporem uma análise mais detalhada da complexidade das tarefas para aprimorar a avaliação da eficiência dos processos.

REFERÊNCIAS

[1] TAKIM, R.; HARRIS, M.; NAWAWI, *A. Building Information Modeling (BIM): a new paradigm for quality of life within architectural, engineering and construction (AEC) industry*. Procedia - Social and Behavioral Sciences, v. 101, p. 23–32, 2013.

[2] KASSEM, M.; LEUSIN DE AMORIM, S. *The impact of BIM implementation on the Brazilian construction industry. Journal of Information Technology in Construction*, v. 20, p. 212-226, 2015.

[3] SUCCAR, B.; SHER, W.; WILLIAMS, A. *Measuring BIM performance: Five metrics. Architectural Engineering and Design Management*, v. 8, n. 2, p. 120–142, 2012.

[4] MARCHESAN, P. R. C.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. Proposta de um Modelo Integrado de Gestão de Custos e Planejamento para Obras de Edificação. VII Congresso Brasileiro de Custos, 2000.

[5] FROTA, F. R. D.; WEERSMA, M. R.; WEERSMA, L. A. Método de projetos Ágeis aplicado ao setor de construção civil: Caso comparativo entre construtoras de médio porte. Anais do V SINGEP, São Paulo, Brasil, 2016.

[6] NEVES, A. L. H. C. dos S. Agilidade e lean construction: metodologia de planeamento e controlo da produção baseada na integração de práticas ágeis com a filosofia lean. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2010.

[7] SARDROUD, J. M. et al. *Barriers analysis to effective implementation of BIM in the construction industry. In: ISARC 2018 – 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and International AEC/FM Hackathon*: The Future of Building Things, 2018.

[8] ZEGLIN, B. V.; REIS, A. M.; VERGARA, L. G. L. *Challenges of implementing Building Information Modeling (BIM) in the construction industry*. In: XXII Congresso Internacional da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital, São Paulo, Brasil, 2018.

[9] EASTMAN, C. et al. MANUAL DE BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. v. 1.

[10] SILVA, T. F.; COELHO, K. M.; MELHADO, S. Projetos Industriais – Barreiras Para a Implementação Da Modelagem Da Informação Da Construção. VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção, Recife, Brasil, 2015.

[11] PALHA, R.P.; de LIMA, P.A. Recomendações para o desenvolvimento de projetos em BIM em associação com a metodologia Scrum. Gestão & Tecnologia de Projetos. São Carlos, v.17, n.2, 2022. DOI: https://doi.org/10.11606/gtp.v17i2.161940

[12] SCHWABER, K. *Agile Project Management with Scrum*. Redmond: Microsoft Press, 2004. V.1

[13] ALBINO, R. D. Métricas Ágeis. 1. ed. São Paulo: Casa do Código, 2017.

[14] PEREIRA, P.; TORREÃO, P.; MARÇAL, A. Entendendo Scrum para Gerenciar Projetos de Forma Ágil. Mundo PM, p. 1–11, 2007.

[15] KUMAR, S. S.; MCARTHUR, J. J. *Streamlining Building Information Model creation using Agile project management. Building Information Modelling (BIM) in Design, Construction and Operations*, v. 1, p. 229–240, 2015.

[16] PORWAL, A.; HEWAGE, K. N. *Building Information Modeling (BIM) partnering framework for public construction projects. Automation in Construction*, v. 31, p. 204–214, 2013.

[17] WATSON, A. *Digital buildings - Challenges and opportunities. Advanced Engineering Informatics*, v. 25, n. 4, p. 573–581, 2011.

[18] OWEN, R. et al. *Is agile project management applicable to construction? Understanding and Managing the Construction Process: Theory and Practice - 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, IGLC-14, p. 51–66, 2006.

[19] DAVIS, C. W. H. *Agile Metrics in Action. 1. ed. Shelter Island, NY: Manning Publications Co*, 2015. v. 1.

[20] GONCALVES, L. DE S.; RUSCHEL, R. C. Métricas no contexto de BIM: Mapeamento sistemático da literatura. II Simpósio Brasileiro De Tecnologia Da Informação E Comunicação Na Construção, v. 2, n. 2012, p. 1–9, 2021.

[21] BRUGNERA, K. S. Aplicação da Metodologia BIM no projeto de estruturas. Dissertação (Mestrado)— Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2018.

[22] SUTHERLAND, J. *More Praise for Scrum: The Art of Doing Twice the Work in Half the Time. 1. ed. New York: Crown Business*, 2014. v. 1.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Gestão de projetos: implementação da Modelagem da Informação da Construção em projetos de edificações industriais

Design management: Building Information Modeling implementation in industrial buildings

Fabiana Dias da Silva | Petrobras | fabiana.dias@petrobras.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14475022

Resumo

Nas últimas décadas, observa-se o aumento das discussões em torno das técnicas a serem adotadas na gestão do processo de projeto. No contexto do projeto colaborativo e integrado, destaca-se o *Building Information Modeling* com o objetivo de tornar mais dinâmico e eficiente o compartilhamento das informações e dos dados, de facilitar a comunicação entre a equipe de projeto e de colaborar para que os requisitos relacionados ao desempenho ambiental sejam inseridos na produção de edificações. A implementação do BIM promove a integração e colaboração entre diferentes especialidades de projeto, melhora a visualização de dados e informações de projeto e permite a interoperabilidade resultando em um aumento da eficiência e qualidade da construção. Sendo assim, a proposta deste artigo é apresentar a experiência da implementação do BIM no processo de desenvolvimento de projetos de edificações industriais conduzido pela equipe de projetos de uma empresa de capital aberto que atua de forma integrada e especializada na área de óleo, gás natural e energia. Os empreendimentos da empresa são complexos e envolvem diversas disciplinas. Em geral, a companhia desenvolve os projetos conceitual e básico e contrata o projeto executivo e serviços de construção e montagem. Assim, a equipe de projetos interna da empresa tem a atribuição de elaborar os projetos básicos e fiscalizar os projetos executivos. Nos últimos anos, a empresa vem passando por um processo de transformação digital, cujo um dos pilares é repensar os processos de trabalho e a aplicação de novas tecnologias. Neste cenário, o uso do BIM poderia ser considerado não só apropriado, mas também recomendável para o desenvolvimento dos projetos, uma vez que permitiria uma maior integração entre as diferentes disciplinas e melhor gestão da informação e da comunicação. A definição do objetivo da pesquisa, com um enfoque holístico e interpretativo do processo de projeto, resultou em uma pesquisa empírica para investigar um fenômeno contemporâneo em seu contexto real. Assim, a abordagem da pesquisa consistiu na revisão bibliográfica, levantamento de dados no qual foi feita a análise do processo de projeto através de documentos, procedimentos, contratos, memoriais, fluxogramas, especificações técnicas e observação focada através do acompanhamento da implementação do BIM no desenvolvimento do projeto de edificações industriais e, posteriormente, a análise dos dados observados. O processo de implementação do BIM conduzido pela equipe de projetos da empresa abrange as etapas de diagnóstico, planejamento e execução. Como resultado tem-se a apresentação das principais mudanças identificadas até o momento, assim como, os resultados obtidos e aqueles esperados para as próximas etapas de implementação do processo projetual em BIM como: gestão da informação através de um fluxo de informações integrado, maior interface entre as diferentes disciplinas, redução do prazo de elaboração e revisão do projeto, redução de inconsistências, análise do desempenho térmico, dentre outras. A experiência de

implementação do BIM tem indicado que uma definição clara e objetiva dos resultados pretendidos com o uso do BIM é um fator fundamental para a sua efetiva implementação e para se preparar para as mudanças necessárias ao longo do processo.

Palavras-chave: BIM. Gestão do projeto. Edificações industriais. Projetos complexos.

Abstract

In recent decades, there has been an increase in discussions about the techniques to be adopted in managing the design process. In the context of collaborative and integrated design, Building Information Modeling (BIM) has a great potential to transform the sharing of information and data into a more dynamic and effective process, facilitating communication between the design team and helping to ensure that requirements related to environmental performance are included in the production of buildings. The implementation of BIM promotes integration and collaboration between different design specialties, improves the visualization of design data and information and enable interoperability, resulting in an increase in construction efficiency and quality. Therefore, the purpose of this article is to present the process of implementing BIM in the development of architectural projects for industrial buildings conducted by the design team of a large Brazilian public trade corporation that operates in an integrated and specialized way in the oil, natural gas and energy sector. The company's major projects are complex and involve several disciplines. In general, the company develops the conceptual and basic designs and contracts out the executive design and construction and assembly services. The company's design team is therefore responsible for drawing up the basic designs phase and supervising the executive designs phase. In recent years, the company has been undergoing a process of digital transformation, one of the pillars of which is rethinking work processes and applying new technologies. In this scenario, the use of BIM could be considered not only appropriate, but also recommended, since it would allow for greater integration between the different disciplines and better management of information and communication. The definition of the research objective, with a holistic and interpretative approach to the design process, resulted in empirical research to investigate a contemporary phenomenon in its real context. Thus, the research approach consisted of a literature review, data collection in which the design process was analyzed through documents, procedures, contracts, memoranda, flowcharts, technical specifications and focused observation by monitoring the implementation of BIM in the development of industrial building projects and then analyzing the observed data. The process of implementing BIM conducted by the company's design team covers the stages of diagnosis, planning and execution. The paper concludes with a presentation of the main impacts and changes in the design process identified to date, as well as the results obtained and those expected for the next stages of implementing the design process in BIM, such as: information management through an integrated information flow, greater interface between the different disciplines, reduction in the time taken to prepare and review the project, reduction of inconsistencies, analysis of thermal performance, among others. The experience of implementing BIM has shown that a clear and objective definition of the intended results of using BIM is a key factor in its effective implementation and in preparing for the necessary changes throughout the process.

Keywords: BIM. Design management. Industrial buildings. Complex projects.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, observa-se o aumento das discussões em torno das técnicas a serem adotadas na gestão do processo projetual. Esse tema começou a ganhar espaço no Brasil com o objetivo de mitigar os problemas identificados na produção de edificações e garantir a qualidade do produto [1]

No contexto do projeto colaborativo e integrado, o BIM surge como uma alternativa que, dentre muitas possibilidades, pois permite a associação de atributos geométricos dos edifícios com as entradas de desempenho ambiental e o planejamento de dados, bem como a programação da manutenção do edifício [2] A implementação do BIM torna o compartilhamento das informações e dos dados mais dinâmico e eficiente, facilita a comunicação entre a equipe de projeto e colabora para que os requisitos relacionados ao desempenho ambiental sejam inseridos na produção de edificações.

Contudo, há poucos estudos sobre os desafios que os escritórios com foco em edificações industriais enfrentam para implantarem efetivamente o uso do BIM em seus projetos, especialmente as instituições e empresas públicas e sociedades de economia mista.

No Brasil, a migração para o BIM é relativamente lenta e ainda passa por um processo de aceitação por parte dos escritórios. Em 2017, foi instituído o Comitê Estratégico de Implementação BIM para formular estratégias que pudessem promover a utilização do BIM em projetos e obras do setor público e privado no território brasileiro. O cenário de atuação deste comitê prevê a definição de parâmetros para contratações públicas, elaboração de normas técnicas, capacitação, entre outras ações com a efetiva utilização do BIM a partir de 2028 [3]

A implementação do BIM como uma inovação tecnológica disruptiva resulta na mudança de processos, em que a visão linear e sequencial do processo projetual tradicional dá lugar a um processo colaborativo, integrado e simultâneo. Assim, este artigo apresenta um estudo em que o BIM está sendo implementado no processo de gestão de projeto de uma empresa pública de petróleo, gás natural e energia que trabalha com projetos de elevada complexidade. O principal objetivo desta implementação é ter um processo projetual mais dinâmico e eficaz.

BIM E GESTÃO DO PROJETO

A gestão do processo projetual refere-se ao processo de organização de todas as fases de desenvolvimento, coordenação e execução das atividades relacionadas ao projeto com o objetivo de construir uma edificação. Neste sentido, a qualidade do processo projetual depende de procedimentos de gestão que facilitem o planejamento e o desenvolvimento das atividades de projeto. Assim, entende-se que a abordagem multidisciplinar, a interação, a transparência e o controle de todo o processo são aspectos que devem ser considerados no processo de gestão de projetos [2][1].

No processo tradicional de desenvolvimento de projetos, a elaboração do projeto segue uma lógica sequencial e linear. Ao implementar o processo projetual em BIM, torna-se necessário romper com processos tradicionais de gestão do projeto e gerar novos processos de comunicação entre os participantes do processo e de gestão da informação. Essas mudanças requerem novos procedimentos com impactos tecnológicos, organizacionais (novos procedimentos) e recursos humanos (novas qualificações e funções) [2].

Dentre as possibilidades oferecidas pela tecnologia da informação visando facilitar a gestão do processo porjetual, destaca-se o BIM. A Modelagem da Informação da Construção permite a conjugação de todos os aspectos envolvidos no processo de projeto, a identificação de incompatibilidades e a verificação do impacto das decisões projetuais.

O BIM é uma antecipação da realidade que trata de desenvolver um conjunto de representações (modelos) com informações da construção. É a representação digital das características físicas e funcionais de uma edificação, através de recursos de compartilhamento de informações, que permite a obtenção de dados da construção, criando uma base de dados que pode ser utilizada e atualizada ao longo de todo o ciclo de vida da edificação.

Eastman *et al.* (2011)[4] complementam que, com o BIM, é possível criar digitalmente um ou mais modelos virtuais da edificação. Esses modelos buscam suporte ao projeto ao longo de suas fases, permitindo melhor análise e controle dos processos ao longo do ciclo de vida de edificação.

Nesse sentido, cabe destacar a pesquisa desenvolvida por Olin's et al (2016) informando o potencial do BIM como instrumento de cooperação, que pode ser utilizado tanto para a gestão de documentos e informações, quanto para gestão de projetos, controle de orçamentos, planejamento, cronograma, simulações e análises ambientais.

A modelagem da informação da construção é um processo disruptivo que consiste na virtualização do processo de construção através da gestão da informação e da comunicação ao longo do ciclo de vida

do empreendimento. Sendo assim, os procedimentos tradicionais de desenvolvimento de projeto não se adequam à forma como a informação e os fluxos de trabalho se desenvolvem em um projeto em BIM. Etapas relacionadas à validação do modelo, plano de execução BIM, tipo de entregáveis, elaboração de novos procedimentos, antecipação da entrada de disciplinas, interoperabilidade, gestão das informações e da comunicação resultam em mudanças estruturais e organizacionais [5][2].

Complementa-se que a implementação do BIM permite a integração entre diferentes especialidades de projeto e melhora a visualização de dados e informações de projeto que aumentam a eficiência e a qualidade na construção. Também, pode contribuir para a colaboração entre a equipe de projeto, facilitar a transparência no fluxo de trabalho e permitir a interoperabilidade.

Neste cenário, o uso do BIM poderia ser considerado não só apropriado, mas também recomendável para o desenvolvimento dos projetos da empresa, uma vez que permitiria maior integração entre as diferentes disciplinas e melhor gestão da informação e da comunicação.

ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Este estudo refere-se à experiência de implementação do BIM no processo de projeto de edificações industriais. A definição do objetivo da pesquisa, como uma abordagem holística e interpretativa do processo de projeto, resultou em uma pesquisa empírica para investigar um fenômeno contemporâneo em seu contexto real. Assim, a abordagem da pesquisa é uma estratégia qualitativa [6]

A fundamentação teórica consistiu na revisão bibliográfica de temas, como a gestão do projeto e BIM. Para a pesquisa, o levantamento de dados considerou a análise do processo projetual através de documentos, procedimentos, contratos, memoriais, fluxogramas, especificações técnicas e observação focada. Além disso é importante mencionar a experiência da autora, como parte da equipe de projeto, que permitiu o acompanhamento e a participação do processo de implementação do BIM.

TRANSFORMAÇÃO DIGITAL COM A IMPLEMENTAÇÃO DO BIM

A empresa objeto do estudo apresentado neste artigo é uma empresa brasileira de capital aberto que atua de forma integrada e especializada na área de óleo, gás natural e energia.

Os grandes empreendimentos da empresa são complexos e envolvem diversas disciplinas. Em geral, a companhia desenvolve os projetos conceitual e básico e contrata o projeto executivo e serviços de construção e montagem. Assim, a equipe de projetos interna da empresa tem a atribuição de elaborar projetos básicos e fiscalizar projetos executivos de edificações industriais como: salas de controle, laboratórios, subestações, estações de carregamento/descarregamento e outras de apoio ao funcionamento das unidades como: prédios administrativos, refeitórios, serviço médico, portaria, guarita, vestiários, entre outros.

Nos últimos anos, a empresa vem passando por um processo de transformação digital, cujo um dos pilares é repensar os processos de trabalho e a aplicação de novas tecnologias. Neste cenário, a automação das atividades relacionadas à elaboração de projetos abre caminho para novas soluções digitais, como o BIM.

Eastman *et al.* e Deutsch (2011)[4] descrevem o BIM como uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar gerenciar dados construtivos durante todo o ciclo de vida do empreendimento. Desta forma, o processo de projeto desenvolvido em BIM pressupõe uma nova forma de trabalho que gera uma série de novos procedimentos de gestão da

informação e da comunicação com foco na integração e colaboração entre as equipes de projeto e depende da atuação conjunta de políticas, processos, tecnologia e recursos humanos.

Ao longo dos últimos anos, a equipe de Arquitetura a partir de revisão de literatura e capacitação no processo BIM estabeleceu um plano de implementação evolutivo. Neste plano foram definidas diferentes etapas para a implementação. As fases foram definidas em: Fase 1: Modelagem, Fase 2: Colaboração e Fase 3 Integração. A fase 1, já foi finalizada, o processo encontra-se na Fase 2 com a finalização da implementação da colaboração entre Arquitetura e Ar-condicionado (HVAC) e entende-se que até o próximo ano, a implementação do BIM estará finalizada, concluindo a última fase que seria a integração entre todas as disciplinas envolvidas na elaboração dos projetos (Arquitetura, Elétrica, HVAC, Civil, Segurança, TIC).

O diagnóstico para a implementação do BIM teve início em 2019 quando foi feito o mapeamento da estrutura organizacional, análise dos processos atuais e da infraestrutura técnica e definição dos usos relevantes do BIM para a organização na elaboração dos projetos de edificações industriais (figura 1).

Em seguida na fase de planejamento foi elaborado um Plano Estratégico BIM em que foram estabelecidos os prazos e delineados os objetivos principais a serem atingidos a curto, médio e longo prazo. Em uma primeira etapa, definiu-se como objetivos principais, a extração automática de quantitativos e documentos gráficos na fase de projeto básico, seguida de análise do desempenho térmico e colaboração e integração com demais disciplinas.

Figura 1: Linha do tempo da implementação do BIM pela equipe de projeto



Fonte: autora

Com o Plano Estratégico consolidado, posteriormente, foi desenvolvido o Plano de Implementação BIM que estabeleceu os tipos de capacitação, como organizar as informações, quais seriam os novos procedimentos, tipo de informação a ser compartilhada, matriz de responsabilidades, definição do fluxo de informações e o Plano de Execução BIM (PEB).

O PEB é um documento que define as regras e diretrizes gerais para o desenvolvimento do projeto em BIM. [4]. Foi desenhado pela equipe de Arquitetura com apoio da consultoria e estabeleceu uma sequência de ações para a implementação do BIM como: os documentos a serem produzidos, os procedimentos a serem revisados e os novos procedimentos, tipos de treinamento, definição dos fluxos de informação para promover a colaboração e integração com as demais disciplinas, responsabilidades, projeto-piloto, avaliação e validação do processo e registro dos procedimentos.

O PEB foi conduzido em grande parte pela equipe de Arquitetura da empresa e foi sendo elaborado concomitantemente com outras atividades, nos últimos cinco anos. Neste período, a equipe se deparou com uma série de dificuldades como: melhor forma de realizar os ciclos otimização, definição

dos procedimentos e critérios para a organização das informações durante o uso efetivo do BIM, entre outras. Atualmente, a equipe tem um especialista em BIM e uma consultoria externa dedicada ao assunto o que tornou o processo mais dinâmico e efetivo.

No momento, o PEB encontra-se na fase de finalização das bibliotecas e templates e implementação dos fluxos de informação, assim como, a capacitação da equipe na gestão das informações. Em seguida, terá início do Projeto-piloto que tem como objetivo implementar o processo em BIM (PEB) em um projeto específico, possibilitando uma avaliação do processo, identificando as lições aprendidas e as oportunidades de melhoria dos processos, seguida pela revisão dos procedimentos e consolidação do processo em BIM.

RESULTADOS OBTIDOS E ESPERADOS

A análise apresentada refere-se a uma experiência específica de um escritório que elabora projetos complexos de edificações industriais. No entanto, as lições aprendidas podem orientar e auxiliar a implementação do BIM por outros atores.

No caso de estudo apresentado, o processo em BIM está sendo implementado e várias fases previstas já estão finalizadas. Com isso, é possível apresentar os resultados obtidos até o momento, assim como, os esperados a curto e médio prazo.

Destacam-se como resultados obtidos:

a) Plano de Execução BIM: O desenvolvimento do Plano de Execução BIM tem produzido uma melhor comunicação entre as equipes de projeto e a padronização do processo de elaboração do projeto.
b) Capacitação: A capacitação da equipe de projeto no desenvolvimento de projetos em BIM contribuiu para o entendimento do processo.
c) Entregáveis: A automatização do levantamento de quantitativos tem reduzido prazos e tornado o processo mais eficiente e transparente.
d) Ambiente comum de dados: A gestão da informação através de um fluxo de informação integrado através de Common Data Environment (CDE) tem tornado a organização das informações, da comunicação e da documentação de projeto centralizada mais transparente, integrada, simultânea e colaborativa.

O processo de implementação do BIM ainda prevê como resultados: maior clareza na interface com as diferentes disciplinas de projeto, redução de inconsistências e do prazo de elaboração e revisão dos documentos, análise de desempenho energético e integração e colaboração com as demais disciplinas.

Com a finalização e consolidação do processo de implementação do BIM é esperado que o desenvolvimento de projetos de edificações industriais seja feito de forma mais dinâmica resultando em um processo mais eficiente e transparente.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A implementação do BIM é um processo que traz mudanças sociais e tecnológicas ao processo projetual. Por conseguinte, os procedimentos tradicionais projetuais precisam ser revistos, para evitar que as equipes de projeto fiquem limitadas a implementar apenas uma tecnologia e não um processo. No caso de estudo, vários aspectos têm contribuído para o sucesso da implementação do BIM dos quais destaca-se:

a) Envolvimento da equipe de projeto e projeto-piloto: capacitação da equipe, sobretudo, no entendimento do BIM como um processo foi um fator fundamental para a sua implementação. A elaboração do projeto-piloto tem sido importante para a consolidação do conhecimento.

b) Consultoria: ter um especialista como parte da equipe e uma consultoria externa têm sido pontos relevantes para o sucesso da implementação do BIM até o momento. A consultoria tem se apresentado como fator chave para superar os gargalos encontrados anteriormente pela equipe de projeto.
c) Treinamento direcionado: o treinamento da equipe de projeto foi elaborado de forma a abranger as especificidades das edificações industriais, o que resultou em uma equipe mais preparada.
d) Interesse da empresa e consultoria: O processo de implementação do BIM durante muito tempo foi uma atividade realizada por parte da equipe, mas não era a atividade principal, isso resultou em um processo longo que poderia ter sido mais dinâmico. Atualmente, com a consultoria dedicada ao assunto tem-se a identificação dos gargalos (gaps), otimização dos processos e customizações necessárias e identificação de treinamentos complementares.
e) Gestão da informação: Um fator de sucesso na implementação do BIM no caso de estudo tem sido a organização das informações e do fluxo de comunicação através do estabelecimento de um ambiente comum de dados estruturado e definição dos usos relevantes do BIM.
f) Obstáculos: uma das grandes dificuldades identificadas são as mudanças organizacionais e culturais na forma de conduzir o processo projetual a partir de uma visão colaborativa e integrada do processo projetual, superando a visão sequencial e linear.

Portanto, a experiência com a implementação do BIM mostrou que definir de forma clara e objetiva, os resultados pretendidos pela organização para o uso do BIM é um fator chave, pois, enquanto, não houve a definição dos usos relevantes para a instituição, não foi possível determinar as metas e as mudanças que seriam necessárias ao longo do processo.

REFERÊNCIAS

[1] SALGADO, M. Disciplina de Gestão do Processo de Projeto na construção do edifício. Proarq/ FAU/ UFRJ (2013).

[2] SILVA, F.; SALGADO, M. *The Use of FTA To Evaluate the Potential of the BIM Platform in Building Rehabilitation*. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 8, n. 1, p. 3-19, mar. 2017. ISSN 1980-6809. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8649200>. doi: http://dx.doi.org/10.20396/parc.v8i1.8649200. Acesso em 10 set. 2024.

[3] BRASIL. Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação de Building Information Modeling. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 de maio de 2018. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2018/decreto-9377-17-maio-2018-786731-publicacaooriginal-155623-pe.html. Acesso em 10 set. 2024.

[4] EASTMAN et al. *BIM handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers and contractors*. Nova Jersey: John Willey & Sons, 2011.

[5] SILVA, F. Gestão do processo de projeto na reabilitação de edificações: visando à melhoria da qualidade ambiental. Tese (doutorado) – FAU, UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.

[6] GROAT, L.; WANG, D. *Architectural research methods*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013.

[7] CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). Fundamentos BIM – Parte 5: Formas de contratação BIM. Brasília: CBIC, 2016.

[8] DEUTSCH, R. *BIM and integrated design*. New Jersey: John Willey & Sons, 2011.

[9] SILVA, F. Gestão do processo de projeto na reabilitação de edificações: visando à melhoria da qualidade ambiental. Tese (doutorado) – FAU, UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.

[10] EASTMAN et al. *BIM handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers and contractors*. Nova Jersey: John Willey & Sons, 2011.

[11] FABRICIO, M. Projeto simultâneo na construção de edifícios. Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: mimeo, 2002.

[12] MELHADO, S. O plano da qualidade dos empreendimentos e a engenharia simultânea na construção de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1999, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: UFRJ/ ABEPRO, 1999. 1 CD-ROM.

[13] OLIN, J.; JYLHA, T.; JUNNILA, S. *Virtuality: What does it means for FM? In: CIB W070, W092 & TG72 INTERNATIONAL CONFERENCE ON FACILITIES MANAGEMENT, PROCUREMENT SYSTEMS AND PUBLIC PRIVATE PARTNERSHIP, 1, 2012, Cape Town. Proceedings* …. Cape Town: University Of Cape Town, 2012. p. 20 - 26. Disponível em: <http://www.cibworld.nl>. Acesso em 23 ago. 2024.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Integração BIM e SIG baseada em um modelo de gerenciamento de informações de ativos

BIM and GIS integration based on an asset information management model

Iasmin de Sousa Jaime | Universidade de Brasília| arq.iasminjaime@gmail.com | 0000-0002-5220-2080
Raquel Naves Blumenschein | Universidade de Brasília | raquelblum@terra.com.br | 0000-0001-8168-9142

DOI: 10.5281/zenodo.14475079

Resumo

A integração de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Modelagem da Informação da Construção (BIM) representa um novo processo para o gerenciamento de ativos urbanos e construídos. Este artigo explora a necessidade de um modelo de gerenciamento de informações que combine as capacidades espaciais do SIG com as informações estruturadas do BIM, visando resolver problemas de rastreabilidade e integridade dos dados em projetos de construção. O objetivo é desenvolver uma estrutura de dados que utilize o formato *Industry Foundation Classes* (IFC), permitindo uma interoperabilidade eficaz entre os processos. A metodologia adotada envolve uma análise qualitativa dos requisitos de informação para a gestão de ativos, seguida por um estudo que ilustra a aplicação da integração SIG/BIM em um projeto. A pesquisa utiliza técnicas de modelagem e visualização de dados para demonstrar como a estrutura IFC pode ser otimizada para suportar tantos dados espaciais quanto de construção. Um modelo de gerenciamento de informações de ativos é um processo estruturado que integra dados, processos e tecnologias para otimizar a gestão de ativos ao longo de seu ciclo de vida. A partir do momento que as informações dos ativos são organizadas e armazenadas, frequentemente utiliza-se formatos como o IFC para garantir a interoperabilidade. Entretanto, no que tange ao SIG o padrão aberto de uso desenvolvido pela *Open Geospatial Consortium* (OGC) é o CityGML, que permite a modelagem de dados geoespaciais em 3D, proporcionando uma representação detalhada de edificações, infraestrutura, terrenos e outros elementos urbanos, sendo necessária uma coordenação IFC-CityGML. Durante a implementação dos processos, as dificuldades encontradas incluíram a falta de padronização nos dados existentes e a complexidade da integração de diferentes plataformas tecnológicas, principalmente no que tange a gestão de ativos. Além disso, ainda existe uma resistência dos profissionais em adotar novas práticas de trabalho, o que destaca a importância de um processo de mudança cultural dentro das organizações. Os resultados desta pesquisa demonstram que a integração entre SIG e BIM, por meio de um modelo de gerenciamento de informações de ativos, proporciona uma melhoria significativa na qualidade dos dados e na acessibilidade das informações, principalmente pensando na espacialidade dos ativos construídos. A estrutura de dados baseada em IFC foi parcialmente capaz de unificar informações espaciais e construtivas, permitindo uma visualização dos ativos. Durante a análise do estudo, observou-se problemas na integridade dos dados que precisam ser aprimoradas. A pesquisa revela que esse processo pode auxiliar a gestão de ativos, mesmo em processos embrionários. A capacidade do modelo de manter a integridade dos dados e permitir a rastreabilidade é um avanço que precisa ser estabelecido, especialmente em um contexto em que a transparência e a *accountability* são cada vez mais exigidas, no contexto da governança dos dados e a sistematização do nível necessário de informação ao longo do ciclo de vida.

Palavras-chave: Gestão de Ativos. *Building Information Modeling*. Sistema de Informação Geográfica. IFC. CityGML.

Abstract

The integration of Geographic Information Systems (GIS) and Building Information Modeling (BIM) represents a new process for managing urban and built assets. This article explores the need for an information management model that combines the spatial capabilities of GIS with the structured information of BIM, aiming to address data traceability and integrity issues in construction projects. The objective is to develop a data framework that uses the Industry Foundation Classes (IFC) format, enabling effective interoperability between processes. The adopted methodology involves a qualitative analysis of information requirements for asset management, followed by a case study illustrating the application of GIS/BIM integration in a project. The research uses data modeling and visualization techniques to demonstrate how the IFC structure can be optimized to support both spatial and construction data. An asset information management model is a structured process that integrates data, processes, and technologies to optimize asset management throughout its lifecycle. This model aims to organize, store, and facilitate access to relevant information about an asset, such as buildings, infrastructure, and equipment, ensuring that stakeholders can make data-driven decisions. Once asset information is organized and stored, formats such as IFC are often used to ensure interoperability. However, regarding GIS, the open standard developed by the Open Geospatial Consortium (OGC) is CityGML, which allows the modeling of 3D geospatial data, providing a detailed representation of buildings, infrastructure, terrain, and other urban elements, requiring IFC-CityGML coordination. During the implementation of these processes, challenges encountered included the lack of standardization in existing data and the complexity of integrating different technological platforms, especially regarding asset management. Moreover, there is still resistance from professionals to adopt new work practices, highlighting the importance of a cultural change process within organizations. The results of this research demonstrate that the integration between GIS and BIM, through an asset information management model, significantly improves data quality and accessibility, particularly considering the spatial aspects of built assets. The data structure based on IFC was partially able to unify spatial and construction information, enabling asset visualization. During the study analysis, issues related to data integrity were identified, which need to be improved. The research reveals that this process can assist asset management, even in its early stages. The model's ability to maintain data integrity and enable traceability is a significant advancement that must be established, especially in a context where transparency and accountability are increasingly demanded, in line with data governance and the systematization of the required level of information throughout the lifecycle.

Keywords: Asset Management. Building Information Modeling. Geographic Information System. IFC. CityGML.

INTRODUÇÃO

A crescente complexidade dos ambientes urbanos e construídos impõe desafios significativos para a gestão de ativos (*Asset Management* - AM) ao longo do ciclo de vida. Edifícios, equipamentos urbanos, infraestruturas urbanas, mobiliários, parques, praças entre outros exigem um acompanhamento contínuo, desde a fase de planejamento e construção até a operação e manutenção. Nesse contexto, a integração entre Modelagem da Informação da Construção (BIM) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) surge como um desafio, mas ao mesmo tempo uma solução promissora, permitindo que informações construtivas e espaciais sejam combinadas em uma estrutura interoperável.

O BIM tem se consolidado como uma metodologia fundamental na indústria da arquitetura, engenharia, construção e operação (AECO), impulsionada por seus inúmeros benefícios, enquanto processo de integração e visualização de dados multidisciplinares, oferece um conjunto completo de informações sobre o projeto e os ativos construídos, proporcionando suporte à tomada de decisões por parte dos gestores [1]. Agregando dados estruturados e multidisciplinares para gerar uma representação digital do ativo ao longo de todo o seu ciclo de vida, neste contexto a modelagem digital utilizada no BIM melhora a visualização dos ativos e permite simulações e análises precisas.

A aplicação do BIM em projetos de grande escala, incluindo infraestruturas complexas como pontes, viadutos e até mesmo projeto urbanos tem demonstrado sua eficácia na otimização dos processos de

gerenciamento e execução, além da possibilidade precoce de detecção de interferências e inconsistências que existem no projeto, o que auxilia na redução dos custos e dos prazos [1,2,3,4].

Diferente do BIM, o SIG é uma estrutura projetada para coleta, gerenciamento, análise e integração de dados espaciais [5]. Com base na ciência geográfica, o SIG permite análise espacial organizando dados em camadas visuais interativas, como mapas e cenas 3D. Essas camadas abrangem dados geoespaciais, como topografia, uso e ocupação do solo, mapeamento geológico, imagens de satélite, além de dados de infraestrutura, edificações, demografia, socioeconômicos, cadastro territorial, históricos e temporais.

Neste contexto, a integração de diversas tecnologias de captura, como fotogrametria, *laser scanning*, GPS, RFID e *QR Codes*, enriquece a possibilidade dos usos dos modelos BIM, com informações detalhadas e precisas, proporcionando uma representação virtual completa do ativo [6]. A definição dos "Usos do modelo" conforme proposto pela iniciativa *BIMe* e por Succar [7][8] reforçam a importância do estabelecimento de um conjunto de requisitos predefinidos, de atividades especializadas e resultados específicos do projeto, para que os mesmos possam ser especificados, medidos e aprendidos. Compreendendo assim que existe uma versatilidade do BIM, e até mesmo uma possibilidade da vinculação entre BIM e SIG enquanto uso do modelo, que permite a criação de modelos multidimensionais georreferenciados, que incorporam atributos ao longo da vida útil do modelo, e podem ser enriquecidos com informações analíticas e temporais ao longo do ciclo de vida do ativo.

O BIM fornece dados estruturados para gerenciamento e modelagem 3D de ativos, enquanto o SIG oferece uma visão geoespacial, incluindo dados de localização e contexto ambiental. A convergência entre ambas as plataformas é um desafio técnico e organizacional, onde modelos como IFC e CityGML, promovidos pelo *buildingSMART* e OGC, são fundamentais para a interoperabilidade. No entanto, barreiras como falta de padronização e resistência à adoção de novas metodologias ainda persistem [9].

Segundo [10] a informação geográfica, compõe cerca de 80% do volume total de dados, demonstrando ser um recurso indispensável para a tomada de decisões eficazes em diversos setores, isso acontece tanto no setor público como no privado, reforçando a importância estratégica da informação geográfica.

A adoção de padrões é essencial para o compartilhamento eficiente e eficaz de informações geográficas, promovendo benefícios tanto para a sociedade quanto para a administração pública e/ou privada. Nesse cenário, os padrões geoespaciais desempenham um papel estratégico ao assegurar a interoperabilidade entre sistemas e a qualidade dos dados, viabilizando o desenvolvimento de serviços e produtos geográficos [11]. A padronização permite que diferentes plataformas, organizações e instituições integrem dados de maneira consistente, favorecendo a colaboração, a gestão data driven (tomada de decisões informadas e baseada em dados) e a inovação em diversas áreas, como planejamento urbano, *facilities management* (Gestão de instalações) e gestão de recursos públicos e privados.

A gestão de ativos tem se tornado cada vez mais relevante em diversos setores, exigindo a estruturação de decisões estratégicas, táticas e operacionais para alinhar objetivos e perspectivas. Dentre os aspectos específicos incluem a análise de riscos, oportunidades, desempenho e o equilíbrio entre custos associados à AM.

Dentre os processos de AM estão os ativos de construção, reforçando que existe uma complexidade significativa na gestão de ativos de construção, pois esses edifícios podem estar dispersos em áreas amplas, as características dessas construções são variadas, além do padrão de uso ser distinto na

maioria das vezes o que traz uma grande dificuldade para os administradores dessas propriedades [12].

À vista disso, é fundamental o estabelecimento de uma gestão eficaz de ativos, sendo essencial ter acesso a informações atualizadas e consistentes sobre os edifícios, infraestruturas e o seu entorno para assim garantir uma administração precisa dos ativos. Reforçando a importância da transparência de dados em várias escalas, observando que as trocas de informações ocorrem entre diversos atores e domínios.

Destaca-se que as informações precisam ser precisas e atualizadas quando se trata de AM, principalmente sobre a localização deles, sejam de edifícios, infraestruturas, equipamentos urbanos, mobiliários, dentre outros. Essas informações são importantes para o planejamento, a operação e a manutenção. Uma gestão eficaz só é possível a partir da disponibilidade de dados geográficos de alta qualidade e confiabilidade, além de que uma base de dados sólida permite o desenvolvimento de diversas atividades, como a gestão da propriedade do ativo, a aquisição, o planejamento e o desenvolvimento de novos projetos.

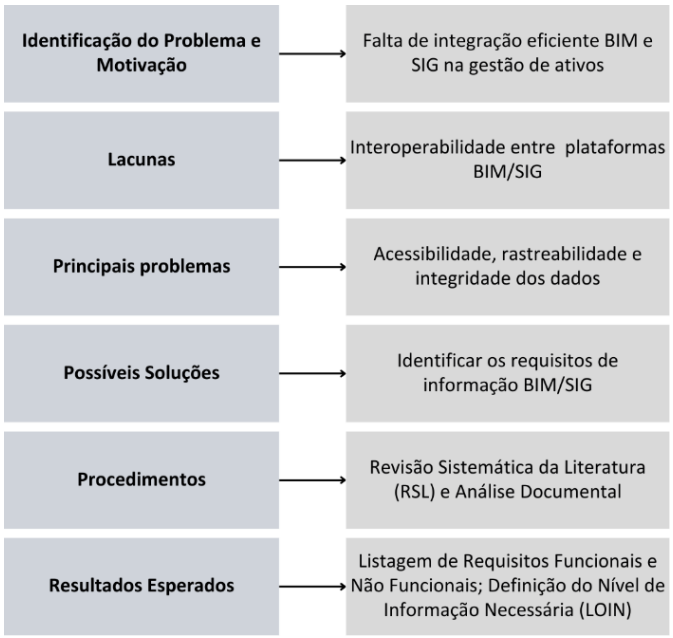
Neste contexto esse artigo, explora a necessidade de um modelo de gerenciamento de informações que combine as capacidades espaciais do SIG com as informações estruturadas do BIM, visando resolver problemas de rastreabilidade e integridade dos dados em projetos de construção. O objetivo é desenvolver uma estrutura de dados que utilize o formato *Industry Foundation Classes* (IFC), permitindo uma interoperabilidade eficaz entre os processos.

MÉTODOS

Para a pesquisa foi utilizado o *Design Science Research* (DSR) que é uma metodologia que busca criar e avaliar artefatos (modelos, processos e sistemas) para resolver problemas complexos [13]. Neste contexto, a aplicação do DSR permitiu o desenvolvimento de um modelo de análise de requisitos de informação na gestão de ativos, integrando BIM e SIG, seguindo a seguintes etapas: Identificação do problema, definição dos requisitos e desenvolvimento do artefato.

A questão central para o DSR foi: *Quais são os requisitos de informação essenciais para uma gestão integrada e eficiente de ativos com BIM e SIG*? O processo incluiu a coleta e estruturação de requisitos com base em uma revisão sistemática da literatura (RSL), normas relacionadas a IFC e CityGML, e análise de projetos e sistemas existentes para identificar lacunas e oportunidades na gestão integrada, conforme demonstrado na Figura 1. As etapas da RSL, embora realizadas, não serão abordadas neste artigo.

Figura 1: Etapas da DSR



Fonte: Autoras (2024).

Com base nos dados coletados, foi desenvolvido um artefato na forma de um modelo de requisitos de informação, que estabelece as categorias necessárias para a gestão de ativos, organizando-as em modelos de dados BIM e SIG, e a compreensão das especificações das correspondências entre os atributos de cada plataforma.

RESULTADOS

Mesmo em fase inicial, há um esforço na padronização e sistematização do gerenciamento de informações, onde BIM e SIG desempenham papel essencial. O BIM exemplifica como a digitalização apoia a modelagem 3D e o planejamento de ativos físicos, otimizando processos nas fases de construção e uso. No entanto, com foco em projetos individuais de grande escala, o BIM prioriza dados do canteiro de obras e detalhes de arquitetura e engenharia. Já o SIG é mais adequado para gerenciar processos em grandes áreas geográficas e contextos variados, devido à sua capacidade de integrar e gerenciar informações geoespaciais diversas.

É importante salientar que tanto o BIM quanto o SIG estão baseadas em tecnologias orientadas por localização, oferecendo informações sobre não apenas "o que" é um ativo, mas também "onde" ele está situado. Mesmo contento informações de “o que” e “onde”, ainda é complexo encaixar perfeitamente os ativos, nas escalas do BIM e/ou do SIG, sendo relevante a integração BIM e SIG para conseguir atingir as diferentes escalas. Neste contexto, surge o GeoBIM, e até mesmo o *City Information Modeling* (CIM) que tem sido utilizado para diversas interfaces, mas ainda pouco explorado no campo do gerenciamento de ativos.

Estratégias específicas de AM são desenvolvidas para diferentes estruturas, abrangendo vários níveis e tarefas. A definição de escopo é essencial, pois a complexidade dos ativos pode alterar as tarefas típicas. Os níveis de gerenciamento de ativos se inter-relacionam, contribuindo para a eficácia do sistema de AM, desde o nível estratégico, que define a vida útil e o ciclo de vida dos ativos (incluindo aquisição, operação, manutenção e desativação), até a avaliação de conformidade, riscos e decisões de investimento e aquisição de novos ativos.

Nesta condição, tanto o BIM quanto o SIG oferecem capacidade únicas, o BIM fornece informações detalhadas e estruturadas sobre elementos construtivos de ativos (materiais, custos, cronogramas, componentes), enquanto o SIG adiciona contexto espacial com dados de infraestrutura, uso do solo e informações socioeconômicas. A Tabela 1 organiza as principais características de cada plataforma, destacando suas especificidades.

Tabela 1 – Características Específicas BIM e SIG.

Características	BIM (Modelagem da Informação da Construção)	SIG (Sistema de Informação Geográfica)
Objetivo	Modelagem tridimensional detalhada de edificações e infraestruturas. Permite o gerenciamento de informações construtivas e operacionais durante todo o ciclo de vida da construção.	Representação espacial de dados geográficos em larga escala. Permite integrar dados geoespaciais para análise e planejamento do contexto urbano e ambiental, incluindo infraestruturas e recursos naturais.
Dados	Dados geométricos 2D e 3D, dados semânticos (não-geométricos). Dados baseados em parâmetros. (IFC)	Dados geoespaciais, imagens, atributos de objetos, informações alfanuméricas, dados raster e dados vetoriais. (Shapefiles, GeoJSON, CityGML)
Aplicações	Todo ciclo de vida da construção (Planejamento, Projeto, construção, gerenciamento, operação e manutenção de edificações e infraestruturas).	Planejamento, gestão, análises, geoprocessamento, georreferenciamento, gerenciamento de dados, monitoramento, mapeamento, visualização, comunicação, modelagem de superfície. (Muito utilizado para Planejamento Urbano e Meio Ambiente).
Nível de desenvolvimento de Informação	Alto nível de detalhe e desenvolvimento, com informações precisas sobre elementos construtivos e suas propriedades. Baseado na NBR ISO 19650 – para o "*Level of Information Need*" (Nível de Necessidade de Informação) para definir a precisão e o detalhamento dos dados em modelos BIM. Nível de detalhe e precisão cresce conforme a necessidade informacional aumenta nas fases do projeto.	Nível de detalhe variável, dependendo da aplicação. As normas ISO 19115-1 e série ISO 19100 definem requisitos para descrever e documentar dados geoespaciais no SIG, priorizando aspectos como metadados, interoperabilidade e qualidade de dados. Informação espacial baseada em resolução, precisão e atributos dos dados, variando conforme a escala de aplicação.
Integração	Integração de dados de diversas disciplinas (arquitetura, engenharia, etc.) Uso de padrões abertos como IFC.	Integração de dados geográficos de diversas fontes (Sistemas de GPS, Mapas, imagens, sensores e outras fontes de dados espaciais). Uso de padrões abertos como CityGML.
Ferramentas	Modelos Autorais: Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD, Vectorworks Architect, Tekla Structures, OpenBuildings Designer, Allplan, ACCA Edificius, Qi Builder, etc.	ArcGIS, QGIS, Google Earth Engine, SuperMAP, GeoServer, GRASS GIS, Mapbox, CityEngine, CesiumJS, etc.
Análises	Análises quantitativas de elementos construtivos, simulação de processos construtivos, análises energéticas, análise de custos e prazos. Vários usos do modelo BIM podem ser utilizados para análises e simulações.	Análises espaciais, modelagem de fenômenos geográficos, análise de dados georreferenciados, buffer, interpolação, sobreposição, dentre outros.
Visualização	Modelos 3D detalhados de edificações e infraestruturas. Visualização 2D e 3D, renderizações.	Mapas temáticos, imagens de satélite, visualizações 2D e 3D de dados geográficos
Interoperabilidade	Integrado por meio de middleware e plataformas colaborativas. OpenBIM - Estrutura de dados IFC. Suporte para formatos IFC e COBie, com foco na troca de dados entre plataformas CAD e BIM.	Dados publicados e consumidos via GeoServer, plataformas open-source. Integração com sistemas e plataformas de dados espaciais através de padrões ISO (ex: GML, WMS, WFS).
Estruturação e Qualidade de dados	Exige organização de dados em um CDE (Common Data Environment) para colaborar. E tem alta precisão de dados para projetos de construção, com controle e validação rigorosa, dependendo do uso do modelo definido.	Dados estruturados com ênfase em coordenadas espaciais, atributos e metadados. Enfoca na precisão geoespacial e no controle de qualidade, importante para análises e validação.

Fonte: Autoras (2024).

ANÁLISE DOS REQUISITOS DE INFORMAÇÃO PARA GESTÃO DE ATIVOS

A análise dos requisitos de informação assegura que o modelo atenda às necessidades dos diversos atores, definindo categorias de dados e orientando a estruturação das informações nos modelos BIM e/ou SIG. Esse processo facilita a interoperabilidade entre plataformas e o acesso às informações ao longo do ciclo de vida dos ativos.

A interoperabilidade baseada em padrões abertos, como o esquema de IFC, foi aprimorada para facilitar o intercâmbio de informações semânticas de alto nível entre diferentes plataformas e disciplinas. Paralelamente, o uso de scripts abertos tornou-se uma porta de entrada para o desenvolvimento de algoritmos personalizados, oferecendo soluções para diversos setores da indústria AECO, promovendo maior integração, automação e eficiência nos processos [14][15].

Segundo a NBR ISO 19650-1 [16] a Modelagem da Informação da Construção (BIM) exerce um papel estratégico na gestão de informações, ao fornecer uma metodologia estruturada para organizar dados de forma que possam ser processados e interpretados por tecnologias especializadas, esse processo requer a definição precisa dos Requisitos de Informação – RI (*Information Requirements*), que estabelecem claramente quais dados são necessários em cada fase do projeto. Além disso, é essencial o Planejamento da Entrega de Informação (*Information Delivery Planning* - IDP), que especifica quando e como essas informações devem ser fornecidas.

A norma [16] classifica os requisitos de informação em três categorias principais: OIR - Requisitos de Informação Organizacionais, que fornecem dados necessários para apoiar a gestão estratégica e operacional da organização, incluindo monitoramento de desempenho e planejamento de investimentos; PIR - Requisitos de Informação do Projeto, que englobam informações específicas para garantir que o projeto atenda aos objetivos do cliente e das partes interessadas, alinhando as entregas aos objetivos estabelecidos; e AIR - Requisitos de Informação dos Ativos, que consistem em informações essenciais para a operação e manutenção eficientes dos ativos ao longo de seu ciclo de vida, facilitando decisões durante a fase operacional.

Após a execução dos serviços, ocorre a entrega formal das informações, que passa por um processo de verificação e aprovação. Esse processo pode marcar a conclusão de um ciclo ou exigir uma revisão iterativa, retornando para a redefinição de requisitos, ajustes no planejamento ou novas entregas, conforme necessário. Neste contexto, o BIM estabelece um fluxo contínuo e integrado de gestão de dados, garantindo que todas as partes envolvidas tenham acesso a informações precisas e atualizadas. No caso do SIG, o desenvolvimento das informações está ligado ao nível de detalhamento espacial e metadados estabelecido pela Série ISO/TC 211, como a ISO 19100, que prevê como a troca e o uso de informações geográficas em sistema e plataformas devem acontecer com base na qualidade, precisão e interoperabilidade dos dados espaciais.

Diante disso, o primeiro passo é o estabelecimento de quais são os usos do modelo que podem ser empregados para a gestão de ativos, para depois identificar quais são os requisitos de informação. Os usos propostos pela BIMe [8] serviram como critério para definição, tratando-se de gestão de ativos, todos os usos associados a série “Operação e Manutenção”, “Monitoramento e Controle” e “Integração e Extensão com outras Plataformas” devem ser considerados. Entretanto, um dos usos fundamentais considerados para essa pesquisa foi o “Uso de Representação Conforme Construído”, compreendo que esse uso representa a construção do Inventário Completo do Ativo (ICA), e é a base para os demais usos. A tabela 2 apresenta quais são os principais Requisitos de Informação de um modelo de Inventário BIM e SIG, no que a gestão de ativos.

Tabela 2 – Usos do Modelo para gestão de ativos.

Série	Uso do Modelo	Descrição e Requisitos de Informação	Requisito de Informação (BIM)	Requisito de Informação (SIG)
Captura e Representação	*As-Constructed Representation* (Representação conforme construído – *As-built*) Construção do Inventário completo dos Ativos	Representação digital detalhada, listando todos os componentes físicos e sistemas de um ativo (ex.: equipamentos, tubulações e estruturas).	- Modelos atualizados de todos os elementos construídos com suas características e especificações finais. - Histórico de alterações realizadas durante a construção, incluindo materiais substituídos e componentes modificados. - Documentação técnica como manuais de equipamentos e sistemas instalados.	- Georreferenciamento preciso dos ativos no contexto do terreno e entorno. - Mapeamento das infraestruturas subterrâneas e redes de utilidades, como água, esgoto, energia e telecomunicações. Sobreposição com o planejamento urbano e sistemas ambientais, mostrando como o ativo final se integra ao contexto geoespacial.
Requisitos de Informação			**Modelo BIM**	**Modelo SIG**
Geometria e Localização Espacial			Objetos BIM precisos, seguros, íntegros, consistentes, classificados, conformes e georreferenciados (Coordenação e Alinhamento Geoespacial).	Modelo Matricial (Raster) e Modelo Vetorial (Vetores – Ponto/Linha/Poligono). precisos, seguros, íntegros, consistentes, classificados, conformes e georreferenciados (Coordenação e Alinhamento Geoespacial).
Metadados e Documentação			Dados sobre origem, autoria, versão, data de criação e atualização do modelo	Metadados sobre fontes, precisão, data de aquisição e escala espacial
Componentes Construtivos			Objetos BIM detalhados (Todas as disciplinas envolvidas). Informações sobre o fabricante, fornecedores, certificações e conformidade com normas de construção.	Camadas Vetoriais Atributos de durabilidade considerando as condições ambientais locais, como umidade, temperatura e exposição a eventos climáticos.
Informações de Materiais			Tipos e propriedades dos materiais	Informações sobre impacto e compatibilidade dos materiais com o ambiente local.
Nível de Desenvolvimento / Nível de Informação Necessária			Alto nível de detalhamento LOD 350 - LOD 500 Definição de LOIN para cada Objetivo BIM	Representação a partir de atributos específicos dos componentes, sem necessidade de detalhamento interno. Níveis de detalhe geoespacial para informações territoriais, como granularidade de mapeamento
Sistemas e Equipamentos Internos			Identificação e especificação de equipamentos e sistemas instalados.	Mapeamento da localização de sistemas principais em infraestrutura urbana.
Mapeamento de Áreas e Volumes			Cálculo de áreas e volumes dos espaços internos e externos do ativo.	Mapeamento de áreas gerais, limites de propriedade e zonas de influência no espaço.
Dados de Análises e Simulações			**Sustentabilidade:** Simulações de eficiência energética, consumo de água e avaliação de impacto ambiental **Acessibilidade:** Detalhamento dos acessos, circulação interna e rotas de fuga.	**Sustentabilidade e Riscos:** Análises ambientais no entorno do ativo, como cobertura do solo, proximidade de áreas verdes e corpos d'água **Acessibilidade:** Mapeamento de acessos principais e circulação no entorno, incluindo vias e acessos externos.
Dados Temporais (Histórico) e Ciclo de Vida do Ativo			Fases de construção, manutenção, substituições e histórico de intervenções do ativo.	Dados temporais básicos sobre atualizações de mapa e alterações significativas na estrutura ou entorno.
Manutenção e Operação			Planejamento de manutenção preventiva e corretiva, com cronogramas e histórico de intervenções.	Planejamento básico de manutenção em relação ao uso do solo e à infraestrutura ao redor.
Dados de Monitoramento e Desempenho (Segurança e Conformidade)			Informações sobre conformidade com normas de construção, segurança e código de edificações.	Informações sobre zoneamento, segurança ambiental e conformidade com regulamentações locais.

Fonte: Autoras (2024).

Com base na análise dos requisitos, as informações foram organizadas em categorias essenciais para garantir que a gestão dos ativos seja completa, essas categorias foram organizadas em dois níveis, os dados construtivos e operacionais e os dados espaciais e de contexto. A gestão de ativos requer dados de alta qualidade e integrados ao longo de todo o ciclo de vida dos elementos. Para entender a essas demandas, a Tabela 3 apresenta os requisitos críticos que foram identificados na RSL.

Tabela 3 – Requisitos Críticos de Integração BIM e SIG.

Características	BIM (Modelagem da Informação da Construção)	SIG (Sistema de Informação Geográfica)
Objetivo	Modelagem tridimensional detalhada de edificações e infraestruturas. Permite o gerenciamento de informações construtivas e operacionais durante todo o ciclo de vida da construção.	Representação espacial de dados geográficos em larga escala. Permite integrar dados geoespaciais para análise e planejamento do contexto urbano e ambiental, incluindo infraestruturas e recursos naturais.
Dados	Dados geométricos 2D e 3D, dados semânticos (não-geométricos). Dados baseados em parâmetros. (IFC)	Dados geoespaciais, imagens, atributos de objetos, informações alfanuméricas, dados raster e dados vetoriais. (Shapefiles, GeoJSON, CityGML)
Aplicações	Todo ciclo de vida da construção (Planejamento, Projeto, construção, gerenciamento, operação e manutenção de edificações e infraestruturas).	Planejamento, gestão, análises, geoprocessamento, georreferenciamento, gerenciamento de dados, monitoramento, mapeamento, visualização, comunicação, modelagem de superfície. (Muito utilizado para Planejamento Urbano e Meio Ambiente).
Nível de desenvolvimento de Informação	Alto nível de detalhe e desenvolvimento, com informações precisas sobre elementos construtivos e suas propriedades. Baseado na NBR ISO 19650 – para o "*Level of Information Need*" (Nível de Necessidade de Informação) para definir a precisão e o detalhamento dos dados em modelos BIM. Nível de detalhe e precisão cresce conforme a necessidade informacional aumenta nas fases do projeto.	Nível de detalhe variável, dependendo da aplicação. As normas ISO 19115-1 e série ISO 19100 definem requisitos para descrever e documentar dados geoespaciais no SIG, priorizando aspectos como metadados, interoperabilidade e qualidade de dados. Informação espacial baseada em resolução, precisão e atributos dos dados, variando conforme a escala de aplicação.

Fonte: Autoras (2024).

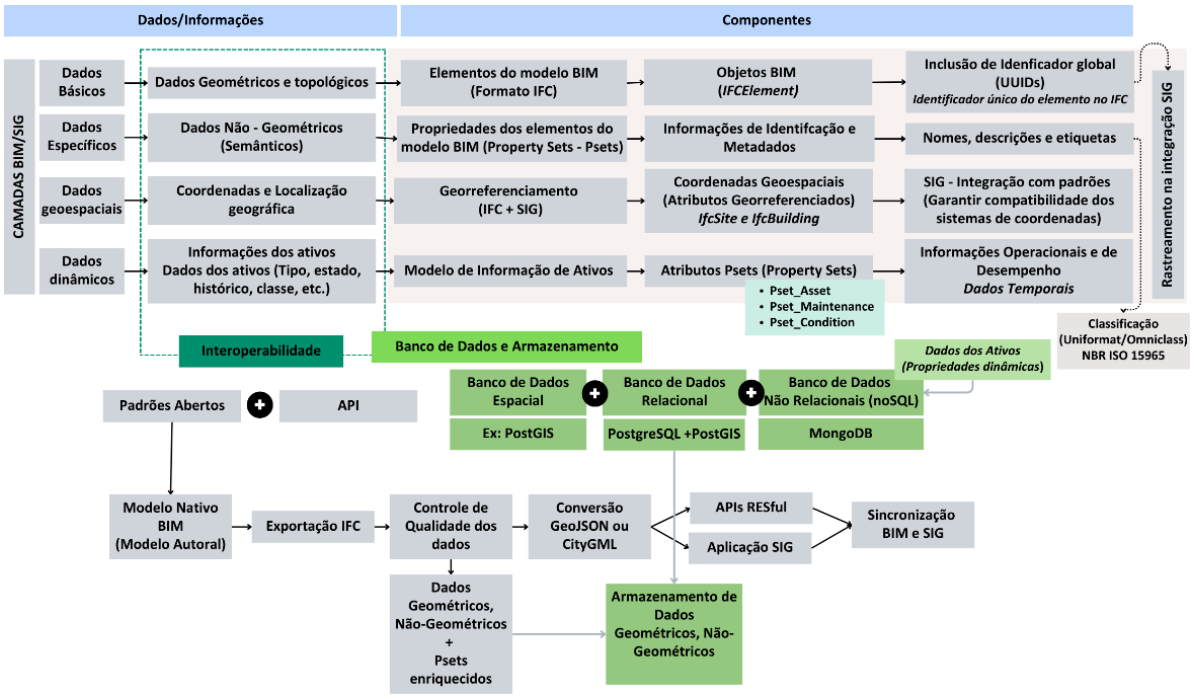
A pesquisa identificou que o formato IFC, amplamente utilizado no BIM, pode ser parcialmente ajustado para lidar com dados espaciais, enquanto o CityGML oferece uma estrutura mais robusta para modelagem geoespacial. No entanto, a coordenação entre esses dois padrões apresenta desafios técnicos, principalmente relacionados à semântica e à granularidade dos dados. Além disso, a rastreabilidade e a integridade dos dados são apontados como fatores fundamentais para garantir que as informações permaneçam consistentes e confiáveis, o que exige um controle rigoroso sobre as modificações e acessos ao modelo. A padronização dos dados, ajuda a unificar as linguagens e atributos utilizados, facilitando a interpretação mútua entre plataformas.

MODELO DE ESTRUTURA DE DADOS BIM E SIG

Para desenvolver um modelo de estrutura de dados que permita uma integração eficaz entre BIM e SIG utilizando o padrão IFC, sugere-se uma abordagem que considere a complementaridade das informações geométricas e semânticas desses dois sistemas.

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam diagramas das estruturas de dados BIM e SIG, destacando a interconexão entre esses sistemas. Baseado em camadas de dados que capturam as especificidades de cada tipo de informação trocada, o modelo organiza de forma estruturada dados sobre edifícios e infraestruturas, promovendo a interoperabilidade entre plataformas. Essas ilustrações demonstram como a integração dos sistemas aprimora a tomada de decisões, eleva a qualidade dos dados e fortalece a governança da informação dos ativos.

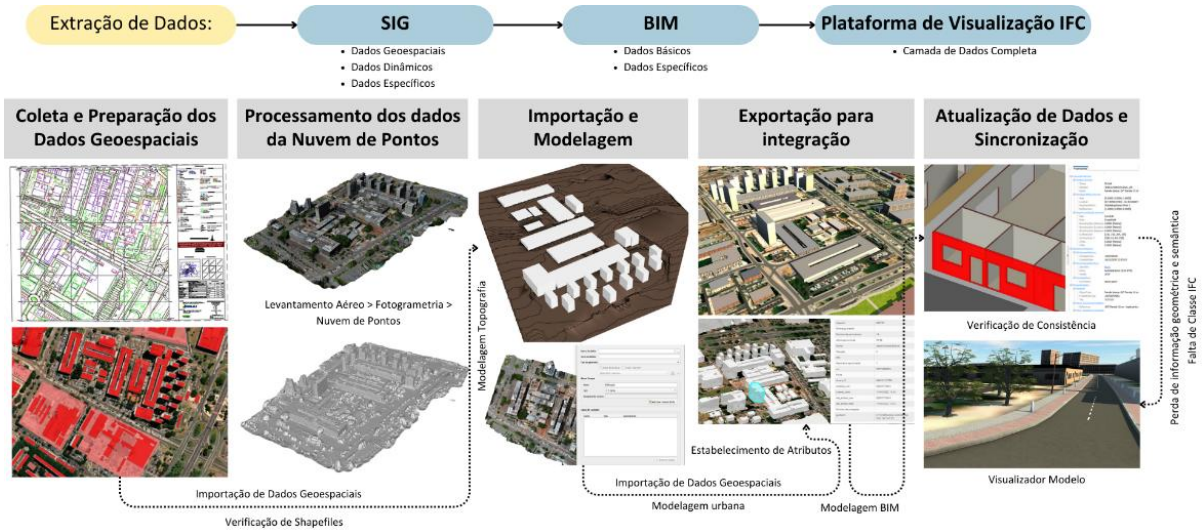
Figura 2: Artefato das camadas de dados BIM e SIG.



Fonte: Autoras (2024).

O processo de integração SIG-BIM envolveu a coleta de dados com Fotogrametria e *Shapefiles* georreferenciados, criando uma superfície 3D que foi modelada no Autodesk *InfraWorks* e exportada para o Revit para integração detalhada de edificações, e integração de dados via API a partir de um banco de dados. Após ajustes de coordenadas, os dados são sincronizados e verificados para consistência. Por fim, são exportados para um arquivo IFC possibilitando análises a abertura em softwares de visualização, e alguns softwares SIG.

Figura 3: Diagrama do Fluxo do processo de integração SIG e BIM – Estudo de Caso.

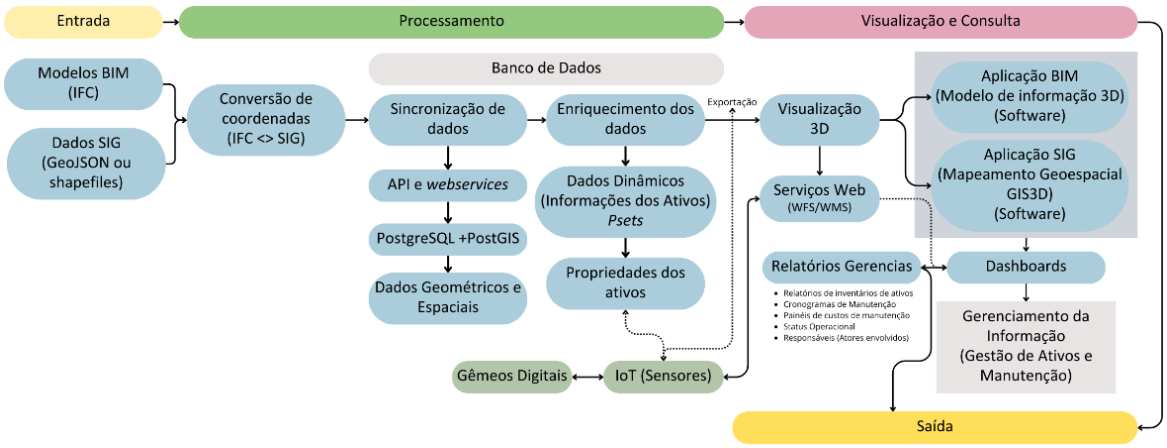


Fonte: Autoras (2024).

A interoperabilidade entre as plataformas é um dos principais desafios enfrentados pela integração BIM/SIG. Para isso, a pesquisa se baseia na utilização do formato IFC, e do padrão CityGML, para modelar dados geoespaciais tridimensionais. A coordenação entre esses dois formatos possibilitou a

criação de um modelo unificado que proporciona uma visualização completa dos ativos, abrangendo tanto informações construtivas quanto espaciais. Isso ofereceu uma nova perspectiva para a gestão integrada de ativos, permitindo melhor compreensão do contexto urbano e maior eficiência nas operações.

Figura 4: Processo de Integração de dados BIM e SIG.



Fonte: Autoras (2024).

A construção do modelo proposto envolveu análise de requisitos de informação, modelagem e desenvolvimento de uma estrutura de dados que pudesse suportar tanto os aspectos técnicos da construção quanto a espacialidade dos ativos urbanos. A utilização de ferramentas de visualização permitiu demonstrar o potencial da integração, ao mostrar como a informação consolidada pode melhorar a tomada de decisões baseada em dados. A pesquisa destacou que, para além da modelagem dos ativos, a integração deve organizar e armazenar essas informações de forma eficiente, permitindo fácil acesso e atualizações contínuas. Durante o processo de implementação, dificuldades operacionais foram identificadas, principalmente relacionadas à padronização dos dados e à interoperabilidade entre plataformas, para o estabelecimento de um banco de dados.

CONCLUSÃO

A análise dos requisitos de informação para a gestão de ativos integrando BIM e SIG é essencial para garantir que os dados necessários estejam disponíveis e organizados de forma consistente ao longo do ciclo de vida dos ativos. Ao estabelecer categorias claras de dados e uma estrutura integrada entre BIM e SIG, o modelo de requisitos facilita a interoperabilidade, rastreabilidade e integridade das informações, promovendo uma gestão mais eficiente. A aplicação prática desse modelo, combinada com o uso de padrões abertos e ferramentas colaborativas, assegura que todas as partes envolvidas tenham acesso a dados precisos e atualizados, otimizando a operação e manutenção dos ativos ao longo do tempo.

Por fim, os resultados demonstram que a integração BIM/SIG promove melhorias significativas na qualidade e acessibilidade dos dados, especialmente ao considerar a espacialidade dos ativos. Embora desafios ainda existam, como a necessidade de aprimorar a integridade dos dados e consolidar a rastreabilidade, o modelo proposto representa um avanço para a gestão de ativos urbanos e construídos. A capacidade de manter a integridade das informações e garantir *accountability* e transparência ao longo do ciclo de vida dos ativos se torna cada vez mais relevante, em um contexto em que a governança de dados é essencial para a eficiência e sustentabilidade dos projetos.

REFERÊNCIAS

[1] SACKS, R.; EASTMAN, C.; LEE, G.; TEICHOLZ, P. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*, 2018.

[2] SUCCAR, B. *Building Information Modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction*, v. 18, p. 357-375, 2009.

[3] WEI, J.; CHEN, G.; HUANG, J.; XU, L.; YANG, Y.; WANG, J.; SADICK, A. *BIM and GIS Applications in Bridge Projects: A Critical Review*. Appl. Sci. 2021, 11, 6207. https://doi.org/10.3390/app11136207

[4] TANG, S.; SHELDEN, D.R.; EASTMAN, C.M.; PISHDAD-BOZORGI, P.; GAO, X. *BIM-assisted Building Automation System information exchange using BACnet and IFC.* Autom. Constr. 2020, 110, 103049.

[5] WANG, N.; RAJA, R.A. *Ontology-based integration of BIM and GIS for indoor routing*. Constr. Res. Congr. 2020, 2020, p. 1010–1019.

[6] ALIZADEHSALEHI, S.; YITMEN, I. *Digital twin-based progress monitoring management model through reality capture to extended reality technologies (DRX).* Smart Sustain. Built Environ. 2021.

[7] SUCCAR, B; SHER, W.; WILLIAMS, A. *An integrated approach to BIM competency assessment and application. Automation in Construction*, v. 35, p. 174-189, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.016

[8] BIM EXCELLENCE. *Model Uses Table*. Disponível em: https://bimexcellence.org/files/211in-Model-Uses-Table.pdf. Acesso em: 10 ago. 2024.

[9] NOARDO, F.; OHORI, K.A.; BILJECKI, F.; ELLUL, C.; HARRIE, L.; KRIJNEN, T.; ERIKSSON, H.; VAN LIEMPT, J.; PLA, M.; RUIZ, A.; et al. Reference study of CityGML software support: The GeoBIM benchmark 2019—Part II. Trans. GIS 2019, 25, 842–868.

[10] YOMRALIOĞLU, T. *Coğrafi Bilgi Sistemas: Temel Kavramlar e Uygulamalar*, 5. Baskı (2009) ; Akademi Kitabevi: Istambul, Turquia, 2000; ISBN 975-97369-0-X.

[11] MA, Z.; REN, Y. *Integrated Application of BIM and GIS: An Overview*. Procedia Eng. 2017, 196, 1072–1079.

[12] GASBARRI, P.; et al. *Supporting Asset Management with GIS and Business Intelligence Technologies: The Case Study of the University of Turin*. ISPRS International Journal of Geo-Information. 13. 65, 2024.

[13] DRESCH, A; LACERDA, D. P.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

[14] ANTUNES, M. L.; CÉSAR JÚNIOR, K.; RIBEIRO, J.; OLIVEIRA, D.; CARVALHO, J. M. Analysis of IFC interoperability data schema for project representation. Automation in Construction, v. 166, oct. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105650.

[15] AURORA, D.; GUIMARÃES, F. BIM evolucionário: aplicabilidade de algoritmos de inteligência artificial no desenvolvimento de projetos de edificações. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2021.

[16] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 19650 - 1: 2018. Disponível em: https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:19650:-1:ed-1:v1:en.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Inteligência sobre trilhos: explorando o uso de BIM na *High-Speed Railway* inteligente (IHSR)

Intelligence on tracks: exploring the use of BIM in Intelligent High-Speed Railway (IHSR)

Bruna Bezerra Vieira | Instituto de Pós-Graduação e Graduação | arqbrubvieira@gmail.com | 0009-0004-1265-8448

Pedro Rey Antón | pedroreyanton@gmail.com

Alessandra Barbetta Lima | Instituto de Pós-Graduação e Graduação | arqbarbetta@gmail.com

Bruna Gonçalves da Silva | goncalvesb.183@gmail.com

Francisco Weslley Paiva Castelo | Universidade de São Paulo | fwpc.eng@gmail.com |

José Vinícius Silva Martins | Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais | contato.jvsmartins@gmail.com | 0000-0002-4158-2639

DOI: 10.5281/zenodo.14475135

Resumo

Nos últimos anos, houve um aumento nos investimentos no transporte ferroviário no Brasil, impulsionado pela Lei das Ferrovias. Esta lei propõe novas regras que permitem a concessão parcial de trechos ferroviários à iniciativa privada, com o objetivo de modernizar, expandir e tornar mais eficiente o setor ferroviário do país. A construção e operação de uma ferrovia demandam consideráveis investimentos, estudos detalhados e a aplicação de tecnologias avançadas como a modelagem da informação da construção (BIM), computação em nuvem, *Big Data*, internet das coisas (IoT), 5G e inteligência artificial (IA). No entanto, há vários anos, essas tecnologias vêm sendo utilizadas separadamente, porém, há uma falta de pesquisas que busquem explorar sua integração. Por essa razão, é necessário um maior desenvolvimento de estudos para compreender a aplicabilidade e aprimorar a colaboração entre essas tecnologias, visando melhorar o processo de tomada de decisão. Buscando explorar o tema em questão, o termo científico IHSR - *Intelligent High-Speed Railway* (Ferrovia de Alta Velocidade Inteligente) foi apresentado como um sistema de arquitetura maduro, que contém *framework*, capaz de suportar e integrar diversas tecnologias, sendo como um "esqueleto" no qual os desenvolvedores constroem suas aplicações, ajudando a evitar o retrabalho e fornecendo uma base sólida para resolver problemas comuns de forma eficiente e consistente. Em razão de sua complexidade, o sistema requer uma estrutura organizada de forma detalhada para lidar com a quantidade de dados gerados ao longo do ciclo de vida da ferrovia, o que demanda um caminho estratégico de implementação estruturado. Em suma, a metodologia de pesquisa descritiva adotada neste estudo, busca fornecer uma compreensão das características e conotações científicas do sistema, por meio de uma pesquisa bibliográfica e análise qualitativa de dados, proporcionando uma abordagem abrangente para explorar e compreender o tema investigado. Esse conceito foi desenvolvido a partir da ferrovia de alta velocidade *Beijing–Zhangjiakou*, sendo considerada a primeira ferrovia de alta velocidade do mundo a ser projetada como uma ferrovia inteligente. Neste artigo, será apresentado também como a China está desenvolvendo um plano de implementação para replicar esse modelo de arquitetura

de ferrovia inteligente de maneira eficaz, em nível nacional, com o objetivo de superar os desafios do processo de informatização ferroviária. Esse plano está dividido em três fases: a primeira, prevista para 2025, estabelece a meta de tornar toda a cadeia tecnológica das ferrovias inteligente; a segunda fase prevê a aplicação de fabricação digital em toda a construção, visando aumentar a produtividade; e, por fim, na terceira fase, espera-se acumular dados suficientes para auxiliar na tomada de decisão e alcançar um nível de autonomia. O tema abordado terá grande relevância para orientar cientificamente o desenvolvimento e o planejamento de novas ferrovias no Brasil, promovendo a exploração tecnológica e técnica, para ofertar melhores serviços, segurança, mobilidade e crescimento econômico, entre outros benefícios. Entretanto, seu desenvolvimento exigirá enfrentar muitas barreiras, não só físicas, mas também tecnológicas e normativas, devido à alta complexidade.

Palavras-chave: IHSR. BIM. Transporte. Ferrovia. *Framework*.

Abstract

In recent years, investments in railway transportation in Brazil have surged, driven by the Railways Law. This legislation introduces new rules that permit the partial concession of railway segments to private enterprises, aiming to modernize, expand, and increase the efficiency of the country's railway sector. The construction and operation of a railway require substantial investments, detailed studies, and the application of advanced technologies, including Building Information Modeling (BIM), cloud computing, Big Data, the Internet of Things (IoT), 5G, and Artificial Intelligence (AI). However, while these technologies have been used individually over recent years, research exploring their integration remains limited. Therefore, there is a pressing need to develop further studies to understand their applicability and improve collaboration between these technologies to enhance decision-making processes. To explore this subject, the scientific term IHSR - Intelligent High-Speed Railway - has been introduced as a mature architectural system capable of supporting and integrating various technologies. It serves as a "framework" for developers to build their applications upon, helping avoid rework and providing a solid foundation to address common challenges efficiently and consistently. Due to its complexity, the system requires a meticulously organized structure to manage the volume of data generated throughout the railway lifecycle, demanding a strategically structured path for implementation. This study's descriptive research methodology seeks to provide an understanding of the scientific characteristics and implications of this system through a bibliographic review and qualitative data analysis, offering a comprehensive approach to explore and understand the topic under investigation. This concept was applied in the design of the Beijing–Zhangjiakou high-speed railway, considered the world's first high-speed railway designed as an intelligent railway. This article will also discuss how China is developing an implementation plan to effectively replicate this intelligent railway architecture nationwide to overcome the challenges of railway digitalization. The plan is divided into three phases: the first, set for 2025, aims to make the entire railway technology chain intelligent; the second phase envisions the application of digital manufacturing throughout construction to boost productivity; and finally, in the third phase, the goal is to accumulate sufficient data to support decision-making and achieve a level of autonomy. The topic addressed will be of great relevance for scientifically guiding the development and planning of new railways in Brazil, fostering technological and technical exploration to offer improved services, safety, mobility, and economic growth, among other benefits. However, its development will require overcoming numerous barriers, not only physical but also technological and regulatory, due to the high level of complexity involved.

Keywords: iHSR. BIM. Transport. Railway. Framework.

INTRODUÇÃO

A Lei das Ferrovias (Lei nº 14.273/2021) representa um marco no desenvolvimento do transporte ferroviário de passageiros no Brasil, pois viabiliza novos investimentos e a expansão de linhas, especialmente por meio de concessões à iniciativa privada. Essa legislação visa modernizar, ampliar e tornar o setor ferroviário mais eficiente, desburocratizando processos de construção e operação [1]. Em apenas um ano após a implementação do modelo de autorizações ferroviárias, foram registrados 89 pedidos, totalizando 22.442 quilômetros de novos trilhos projetados para todas as regiões do país. Esses requerimentos estimam um investimento de R$ 258 bilhões. Essas novas linhas necessitam atender a uma série de requisitos legais, econômicos, sociais e operacionais [2]. Sob a ótica operacional e do usuário, é essencial avaliar a satisfação dos passageiros, a eficiência do serviço, a integração com

outros sistemas de transporte e a adoção de novas tecnologias, as quais podem trazer benefícios diretos ao usuário, indicando a necessidade de investigações contínuas sobre esses elementos [3]. Tecnologias como modelagem da informação da construção (BIM), computação em nuvem, big data, internet das coisas (IoT), 5G e inteligência artificial (IA) estão evoluindo rapidamente e sendo amplamente empregadas no setor de transporte ferroviário mundialmente. Contudo, Kurwi *et al.* (2017) [4] argumentam que o uso dessas tecnologias em projetos ferroviários ocorre de maneira isolada, o que evidencia a carência de pesquisas voltadas à integração dessas inovações. Assim, torna-se fundamental desenvolver estudos que explorem a aplicabilidade e a colaboração entre essas tecnologias, a fim de aprimorar o processo de tomada de decisão.

Nesse contexto, é relevante explorar as tendências tecnológicas e sua integração, visando ampliar a capacidade de autopercepção, decisão e aprendizado autônomo das ferrovias. O conceito de ferrovia de alta velocidade inteligente (IHSR - *intelligent high-speed railway*) surge como uma alternativa promissora para o uso e integração dessas tecnologias, tornando-se um exemplo de abordagem integrada a ser considerado no aprimoramento das infraestruturas ferroviárias [5]. Essa perspectiva demonstra a importância da aplicação sinérgica para fortalecer a eficiência, a segurança e a sustentabilidade das operações.

CONTEXTO

CONCEITO DO SISTEMA

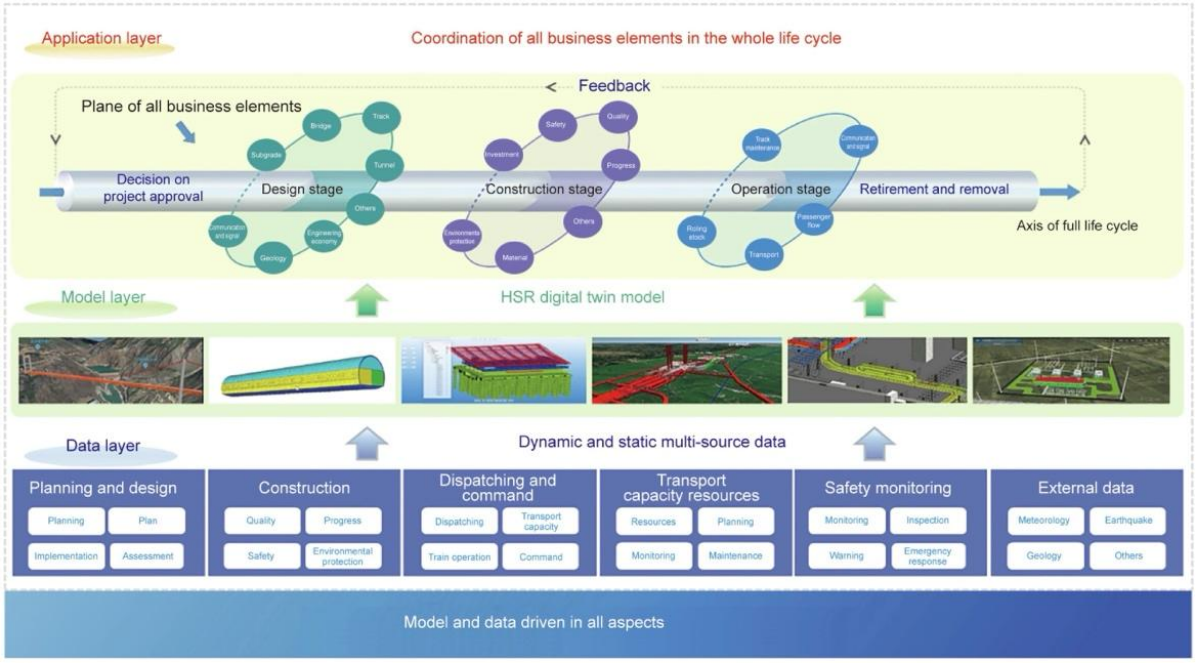
A construção da ferrovia de alta velocidade (FHV) de Beijing–Zhangjiakou, possui 174 km de extensão e opera a uma velocidade máxima projetada de 350 km/h. Essa ferrovia superou diversas dificuldades, como geologia complexa, construção desafiadora e rigorosos requisitos de proteção ambiental. Outros desafios incluíram a variedade de perfis de passageiros, períodos de maior fluxo, altos requisitos de serviço e grande atenção internacional durante os preparativos para os Jogos Olímpicos de Inverno. Para atender aos requisitos de construção e operação, foram definidos os seguintes critérios: 1) integrar e aplicar modelagem de informações de construção (BIM), big data, inteligência artificial (IA), navegação por satélite *BeiDou*, 5G e outras tecnologias de informação de nova geração; 2) promover inovações para a construção, desenvolvimento dos equipamentos e operação; e 3) implementar percepção abrangente, interconexão ubíqua, processamento integrado, aprendizado ativo e tomada de decisão otimizada baseada em dados [6]. Esses mesmos critérios, após sua implementação, levaram-na a ser considerada a primeira FHV do mundo projetada com base no conceito de ferrovia inteligente.

Desde que entrou em operação, essa ferrovia passou com êxito no teste do que é definido como HSR (*high-speed railway*), destacando-se por suas inovações tecnológicas em construção, equipamentos, e operação inteligentes, sendo amplamente elogiada por passageiros e por vários setores da sociedade. Durante a fase de teste, foram realizados experimentos integrados com 28 tecnologias críticas, incluindo o sistema de operação automático de EMU (*Electric Multiple Unit*) de alta velocidade é uma composição ferroviária movida por energia elétrica, onde cada vagão ou conjunto de vagões possui seu próprio sistema de propulsão elétrica. Esse sistema, integrado ao controle de tráfego centralizado de uma ferrovia de alta velocidade (HSR), facilita a automação de trens e a comunicação ferroviária. Assim, todas as funções e parâmetros de desempenho das tecnologias inovadoras da HSR inteligente foram validados [6].

Para enfrentar os desafios das tecnologias complexas, interfaces numerosas e coordenação ao longo do ciclo de vida completo da ferrovia, Segundo Wang (2021) [6] foi graças à realização de um *design*

de alto nível, que utilizou uma plataforma para troca de dados, coordenação em um eixo plano e integração de modelos e dados, resultando na consolidação desse conceito.

Figura 1: O conceito de gestão de coordenação em um eixo plano e integrado entre modelo e dados.



Fonte: Wang (2021).

O autor Li *et al.* (2023) [5], exemplifica também sua visão sobre um design de alto nível. Para ele, é a profunda integração entre a rede física e a rede digital. A rede física é o mundo real, composto por várias entidades físicas visíveis, como trens-bala, trilhos, pontes, comunicações e alimentação elétrica. A rede digital é um mundo invisível, composto por um modelo digital unido as entidades físicas, um sistema de descoberta de conhecimento baseado em dados e um sistema de saída de capacidades com autoprescrição, autodiagnóstico e autodeterminação. As duas redes se orientam, se mapeiam, operam em conjunto e se integram profundamente. Através da utilização abrangente de dados e conhecimentos no espaço digital das ferrovias de alta velocidade, as atividades específicas do espaço físico são orientadas, formando, finalmente, um sistema de ciclo fechado de iteração mútua.

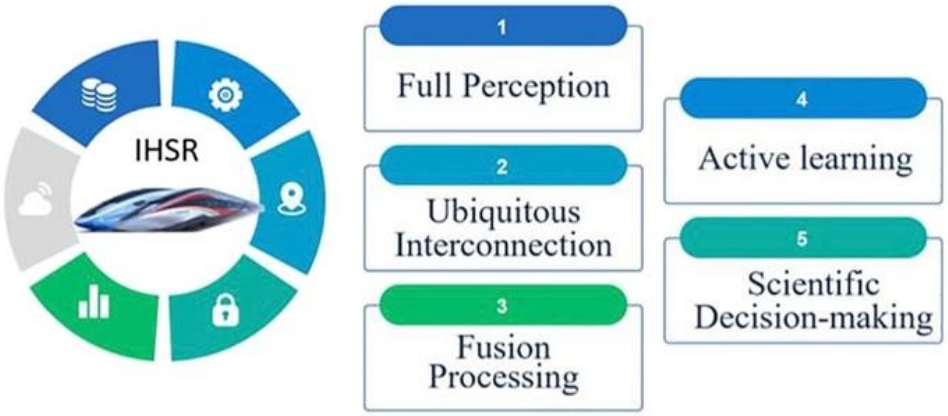
CARACTERÍSTICAS

Tanto Wang *et al.* (2022) [6]; Shaofu Lin *et al.* (2019) [7] como os autores Li *et al.* (2023) [5] concordam que existem cinco características típicas para definir uma Ferrovia de Alta Velocidade Inteligente, que são as seguintes:

1. Percepção abrangente (*Full perception*): Realizar a compreensão das informações sobre equipamentos móveis, instalações fixas, meio ambiente e outros elementos relacionados no sistema ferroviário são completamente e minuciosamente percebidas.
2. Interconexão ubíqua (*Ubiquitous interconnection*): Diagnosticar todos os tipos de informações que interagem com segurança e confiabilidade para alcançar o compartilhamento de informações.
3. Processamento de fusão (*Fusion processing*): De acordo com o armazenamento, análise e exploração dos enormes dados adquiridos pela percepção e interconexão, as informações valiosas são transferidas para conhecimento de todos os envolvidos no projeto, para resolver problemas. Dessa forma, todos podem coordenar e interagir melhor e realizar o compartilhamento de recursos.

4. Aprendizado ativo (*Active learning*): Os dados e conhecimentos acumulados são constantemente iterados para se adaptar às mudanças no mercado externo e no ambiente ferroviário. Através de algoritmos, informações de tomada de decisão podem ser extraídos de dados massivos para fornecer referência para o gerenciamento.
5. Tomada de decisões científicas ou Aprendizagem autônoma (*Scientific decision-making*): a percepção, compartilhamento, colaboração e mobilidade combinam-se para fundamentar decisões baseadas em análises inteligentes, fornecendo o feedback que constrói o comportamento de controle da geração externa. Em seguida, funções de controle são executadas continuamente para atingir os objetivos desejados. Assim, o sistema continua a aprender de forma autônoma, adaptando-se às necessidades de construção e desenvolvimento ferroviário.

Figura 2: As características de uma IHSR.



Fonte: Li *et al.* (2023).

FRAMEWORK DE IHSR

FRAMEWORK

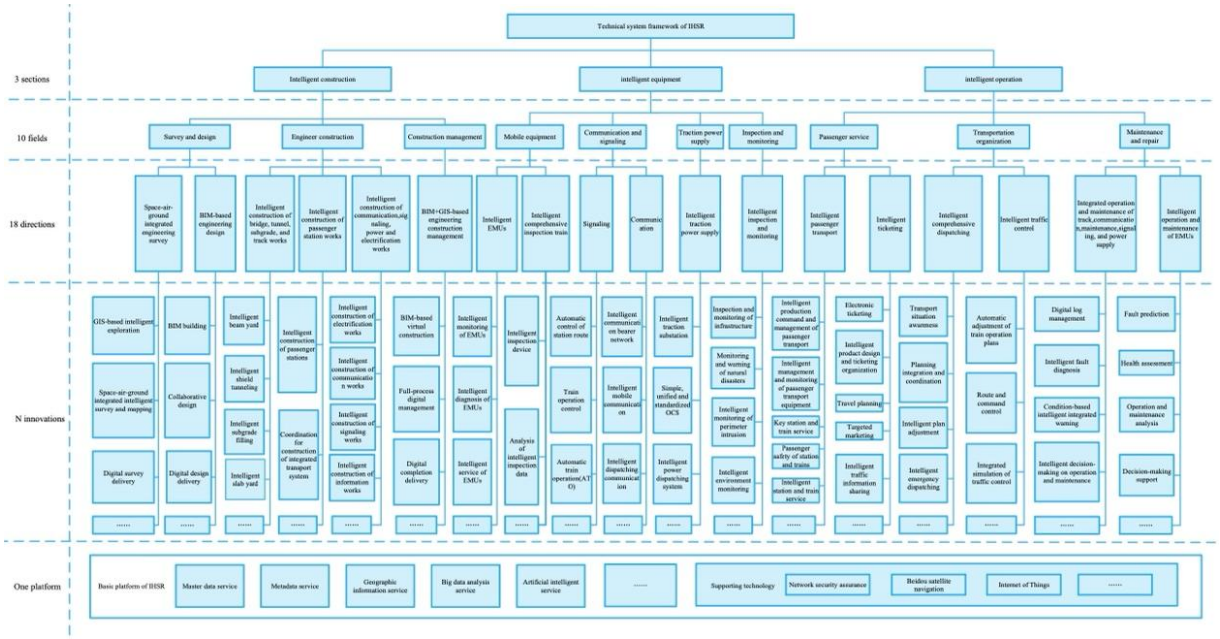
Um *framework* para desenvolvimento de produtos é como um mapa que ajuda a entender e organizar as diferentes maneiras de trabalhar em um projeto. Ele cria uma espécie de 'grade' que facilita visualizar onde estamos, quais caminhos podemos seguir e como explicar nosso ponto de partida e destino para outras pessoas. Funciona como uma estrutura básica que permite construir algo mais rapidamente e com qualidade, podendo ter mais de uma dimensão [8].

Essa proposta de desenvolver um *framework* também foi aplicada ao IHSR, devido à sua complexidade, pois envolve diversas áreas e tecnologias trabalhando juntas com o objetivo de operar uma ferrovia.

FRAMEWORK TÉCNICO IHSR

O *framework* técnico foi organizado em uma estrutura em árvore, que reflete de forma clara as relações hierárquicas, tornando-o ideal para representar conceitos com design sistemático, hierárquico e padronizado de diversos componentes e suas inter-relações. Em outras palavras, ele serve como base para avaliar uma série de elementos, proporcionando uma visão clara e organizada da relação entre eles, o que facilita a compreensão e análise de dados complexos ao longo de todo o ciclo de vida [9]. Esse framework inclui cinco níveis hierárquicos, de cima para baixo: envolvendo um total de 3 seções, 10 campos, 18 temas, N inovações e 1 plataforma, conforme desenvolvido na Figura 3.

Figura 3:Estrutura técnica de uma IHSR.

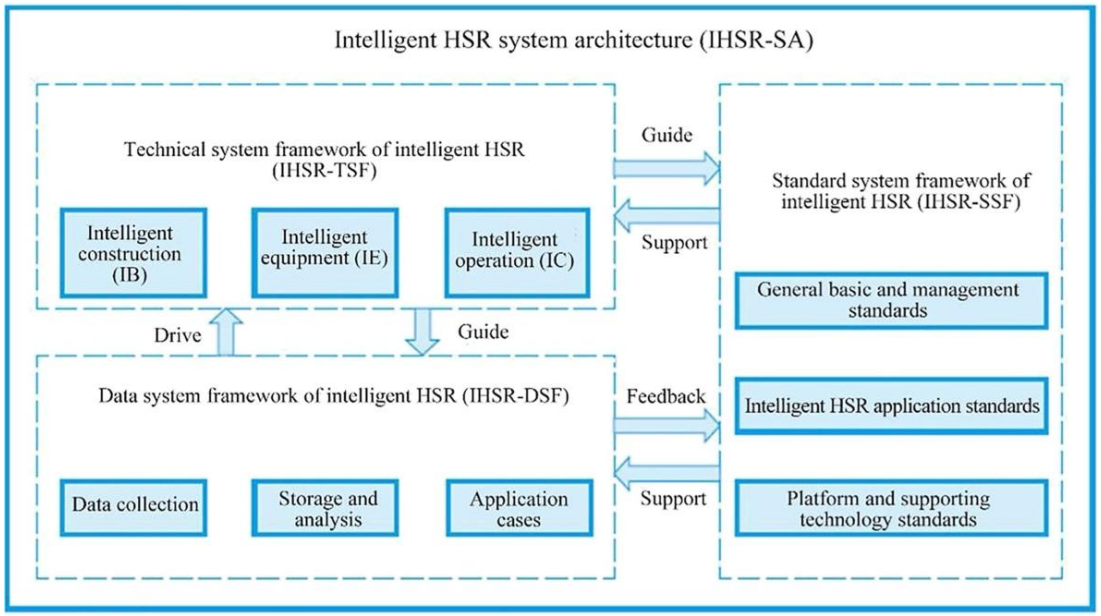


Fonte: Li *et al.* (2023).

ATUALIZAÇÃO CONTÍNUA DO *FRAMEWORK* DO SISTEMAS IHSR

A arquitetura do sistema IHSR é uma estrutura orientadora para a construção e operação, baseada em um resumo sistemático das práticas atuais. Portanto, é essencial propor uma visão multidimensional que permita a atualização contínua do modelo de arquitetura do sistema, garantindo que ele se adapte a novas tecnologias. A proposta para essa atualização contínua, como mostrado na Figura 4, é estruturada em um quadro. Esse quadro é dividido em três partes: a estrutura do sistema técnico da IHSR, a estrutura do sistema de padrões da IHSR e a estrutura do sistema de dados da IHSR. Nessa configuração, o framework técnico atua como um guia para o desenvolvimento de sistema de padrões de dados. Por sua vez, oferece suporte para organizar a estrutura técnica e o sistema de dados. Finalmente, o sistema de dados alimenta a estrutura técnica com informações e fornece feedback ao sistema de padrões com base na experiência acumulada [5].

Figura 4: Dimensões de atualizações contínuas do modelo da arquitetura do sistema IHSR.



Fonte: Li *et al.* (2023).

PLANO DE DESENVOLVIMENTO ESTRATÉGIO DA CHINA PARA AS IHSR

Após definir os critérios e construir uma infraestrutura de engenharia inteligente para a IHSR, a China percebeu sua vantagem econômica e elaborou um plano estratégico para a implementação do conceito em seu território. Esta estratégia foi dividida em três fases, com o objetivo de realizar ao longo de todo o ciclo de vida das ferrovias.

A primeira fase considera que até 2025, toda a cadeia de tecnologia envolvida no projeto, construção e operação de ferrovias de alta velocidade seja inteligente. De acordo com Wang *et al.* (2022) [6], o "estágio de percepção" está relacionado à fabricação digital, onde as empresas ferroviárias precisam explorar ativamente a aplicação integrada de novas tecnologias como a internet das coisas, *big data* e internet móvel, para formar um grande banco de dados da indústria e realizar a construção digital e inteligente de um único projeto. Neste estágio, uma plataforma de gerenciamento de construção de projeto baseada no modelo BIM foi entendida como necessária, para que todos os participantes possam acompanhar de forma oportuna e eficaz os últimos desenvolvimentos do projeto por meio da plataforma.

Segundo Li *et al.* (2023) [5], esse estágio tem 5 objetivos claros a serem alcançados, que incluem:

1. Sistema de ciclo de vida completo baseado em BIM;
2. Espectro completo de trens de alta velocidade inteligentes de autoaprendizado;
3. Operação de trens sem tripulação com sensoriamento completo (Tripulação de plantão, DTO);
4. Comando cooperativo integrado inteligente para múltiplos modos de transporte;
5. Sistema de serviço inteligente de viagem de passageiros.

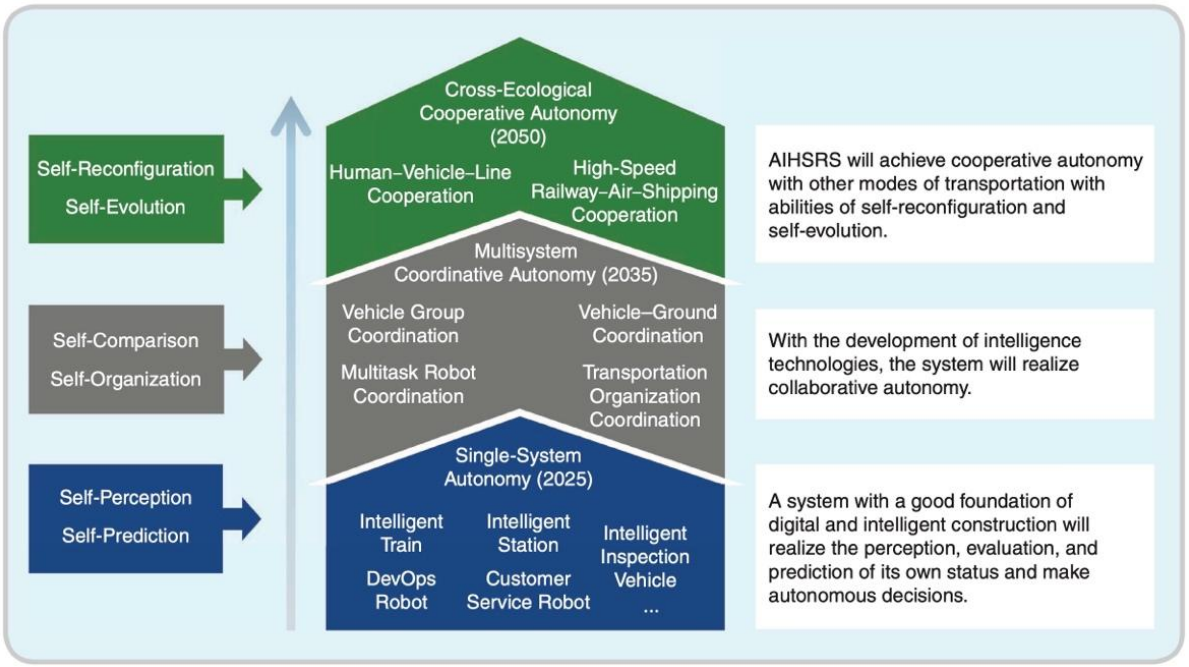
Na segunda fase, prevista para 2035, toda a assistência ao trem de alta velocidade inteligente é totalmente controlada automaticamente. Segundo Wang *et al.* (2022) [6], é o "estágio de substituição", após a experiência e acumulação de dados na fase inicial, a fabricação em rede é realizada com base na fabricação digital na fase inicial. Nesta fase, é aplicada à tecnologia de construção para realizar a substituição manual, melhorando efetivamente a produtividade do trabalho e aumentando os benefícios abrangentes do projeto.

De acordo com Li *et al.* (2023) [5], esse estágio também tem 5 objetivos claros a serem alcançados, que incluem:

1. Ampla aplicação de tecnologia de construção inteligente;
2. Trem de Alta Velocidade Inteligente de autorreparo;
3. Exploração de operação de trem sem tripulação (UTO);
4. Teoria e tecnologia de tolerância a falhas inteligentes de ferrovias de alta velocidade em situações extremamente complicadas;
5. Sistema de segurança inteligente com base em novas tecnologias como quantum e blockchain.

Na terceira fase, prevista para ser implementada até 2050, de acordo com Wang et al (2022) [6], é o "estágio de sabedoria", que após a acumulação de dados nas fases inicial e intermediária e a experiência prática na fase intermediária. Nesta fase, a aplicação da tecnologia já está bastante madura. Os sistemas não só podem conhecer o passado através de uma base de dados, mas também entender o presente e até mesmo prever o futuro. Ao mesmo tempo, também podem tomar decisões para as dificuldades encontradas.

Figura 5:O caminho evolutivo do IHSR.



Fonte: Li *et al.* (2023).

OPORTUNIDADES E DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO CONCEITO DE UM "IHSR" NO BRASIL

A ferrovia inteligente representa o futuro da digitalização ferroviária, sendo fundamental para o desenvolvimento sustentável de ferrovias verdes e a modernização do setor [7]. No entanto, sua implementação enfrenta desafios significativos, incluindo barreiras físicas, tecnológicas e regulatórias, bem como a necessidade de normas técnicas específicas e de profissionais capacitados. Entre as principais oportunidades estão o avanço de novas tecnologias, que impulsionam a inovação em automação e análise de dados, e a melhoria dos serviços oferecidos, com maior conveniência, personalização e integração com outros modais de transporte. Além disso, as ferrovias de alta velocidade precisarão expandir sua capacidade de transporte e eficiência operacional para atender ao

crescimento exponencial do tráfego de passageiros, mantendo baixos custos e altos padrões de segurança. Garantir a segurança dessas ferrovias inteligentes exige proteções ativas e cibersegurança, além de técnicas como o reconhecimento inteligente de imagens [10]. A participação do governo, com investimentos, incentivos e regulamentações favoráveis, é crucial para viabilizar essas transformações e promover parcerias público-privadas. Diante disso, os sistemas ferroviários inteligentes requerem um equilíbrio estratégico entre inovação e regulamentação, garantindo infraestruturas seguras, eficientes e preparadas para as demandas futuras de mobilidade.

CONCLUSÃO

Este estudo investigativo sobre as ferrovias de alta velocidade inteligentes (IHSR) destacou a importância da integração de tecnologias avançadas para a modernização e eficiência do transporte ferroviário no Brasil. A construção de uma ferrovia envolve a aplicação de um modelo arquitetônico complexo, caracterizado por camadas interdependentes que garantem a funcionalidade do sistema. Cada camada desempenha um papel crítico na coleta, processamento e utilização de dados para otimizar as operações ferroviárias, aumentar a segurança e melhorar a eficiência. A integração de tecnologias como BIM, facilita a gestão abrangente do ciclo de vida dos projetos ferroviários, desde o planejamento e construção até a operação e manutenção. A capacidade de percepção abrangente e interconexão ubíqua permite a monitorização em tempo real das condições da infraestrutura e dos trens, enquanto o processamento de fusão e o aprendizado ativo aprimoram a tomada de decisões baseada em dados.

A investigação revela a importância de um desenvolvimento contínuo e a necessidade de superar barreiras tecnológicas e de integração para alcançar uma autonomia completa.

Portanto, o desenvolvimento das ferrovias de alta velocidade inteligentes no Brasil exige uma abordagem técnica robusta, focada na integração tecnológica, segurança da informação, e melhoria contínua das capacidades de percepção e decisão. O avanço nesse setor não só trará benefícios significativos em termos de eficiência e sustentabilidade, mas também posicionará o Brasil como um líder na inovação ferroviária, com um impacto positivo no desenvolvimento econômico e na competitividade global do país.

REFERÊNCIAS

[1] HEINEN, Juliano. Os desafios do modelo de transporte ferroviário a partir da edição do novo marco legal – Lei nº 14.273/2021. Revista de Direito Administrativo e Infraestrutura | RDAI, São Paulo: Thomson Reuters | Livraria RT, v. 7, n. 27, p. 25–48, 2023. DOI: 10.48143/RDAI.27.heinen. Disponível em: https://www.rdai.com.br/index.php/rdai/article/view/662. Acesso em: 28 fev. 2024.

[2] GOVERNO DO BRASIL. Lei das Ferrovias é regulamentada: oportunidade de mais investimentos para o setor. 2022. Disponível em: https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2022/10/lei-das-ferrovias-e-regulamentada-oportunidade-de-mais-investimentos-para-o-setor. Acesso em: 22 out. 2023.

[3] ZHENG, Jinzi; LI, Ping; MA, *Xiaoning. Research on Methodology of Intelligent High-Speed Railway Architecture*. 2021 IEEE International Conference on Power Electronics, Computer Applications (ICPECA), [S. l.], p. 125 até 131, 22 jan. 2021.

[4] KURWI, Sahar; DEMIAN, Peter; HASSAN, Tarek. *INTEGRATING BIM AND GIS IN RAILWAY PROJECTS: A CRITICAL REVIEW*. C J (Eds) Proceeding of the 33rd Annual ARCOM Conference, Cambridge, UK, Association of Researchers in Construction Management, p. 45-53, 4 set. 2017.

[5] LI, Ping; LIU, Yi; SHAO, Sai. *System architecture and basic platform for intelligent high-speed railway: System architecture and basic platform for IHSR. Railway Sciences*, [S. l.], v. Vol. 2, p. pp. 257-272, 15 out. 2023.

[6] WANG, You; WANG, Ziwei; MA, Tingting; LI, Guowei; TIE, Huixia. *Research on the Realization Path of Railway Intelligent Construction Based on System Engineering. Sustainability* 2022, 14, 6945., [S. l.], p. 1-15, 6 jun. 2022.

[7] LIN, Shaofu; JIA, Yafang; XIA, Sibin. *Research and Analysis on the Top Design of Smart Railway. Journal of Physics: Conference Series*, v. 1187, 052053, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1088/1742-6596/1187/5/052053. Acesso em: 15 out. 2023.

[8] WIERINGA, R.J. *Requirements Engineering: Frameworks for Understanding. Faculty of Mathematics and Computer Science*, Vrije Universiteit, Amsterdam: Wiley, 1996-2006. p. 71-79.

[9] WANG, Tongjun. *The Intelligent Beijing–Zhangjiakou High-Speed Railway*. Engineering, v. 7, p. 1665–1672, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.10.006. Acesso em: 15 out. 2023

[10] LI, Ping; ZHU, Yuhao; LIU, Yi; JIN, Chenkun. *Research on System Architecture, Basic Platform, and Development Path of Autonomous Intelligent High-Speed Railway System*. IEEE INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS MAGAZINE, [S. l.], p. 2-13, 4

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Método Integrado de Tendência e Equalização de Custos (MITEC)

The integrated trend and cost equalization method (MITEC)

Mario da Silva Antonio | Concremat Engenharia e Tecnologia | mario.antonio@concremat.com.br
Leonardo Verbicaro Perdomo | Concremat Engenharia e Tecnologia | verbicaro@concremat.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14475206

Resumo

O estudo em questão aborda as limitações da Análise de Valor Agregado (EVA) tradicional, que utiliza valores acumulados até a data de status para gerar indicadores e estimativas finais, mas não considera adequadamente as mudanças no comportamento do projeto ao longo do tempo. O estudo é organizado em três etapas principais: determinar as limitações do método tradicional ao ponderar dados passados de forma inadequada, sem levar em conta as variações no comportamento dos custos reais e a evolução do projeto ao longo do tempo; preencher a lacuna na aplicação prática do Índice de Desempenho de Custos Requerido (IDCR), fornecendo uma abordagem clara e estruturada para seu uso no desenvolvimento de planos de recuperação de prazos e custos; e incorporar fatores de complexidade e incerteza nas estimativas de término, aprimorando a previsão de prazos e custos com base em variáveis dinâmicas que impactam diretamente o desempenho do projeto. A metodologia empregada no estudo é o Método Integrado de Tendência e Equalização de Custos (MITEC), uma solução inovadora que combina suavização exponencial e interpolação linear para realizar análises avançadas de tendências. Este método permite a criação de propostas de replanejamento dinâmico e adaptativo, garantindo uma maior precisão no ajuste contínuo de custos e prazos ao longo do ciclo de vida do projeto. A suavização exponencial é utilizada para ponderar dados históricos, priorizando os valores mais recentes, enquanto a interpolação linear facilita a projeção de cenários futuros, permitindo respostas rápidas a variações inesperadas. Os resultados preliminares do estudo indicam que a aplicação do MITEC na análise de tendências e recuperação de prazos tem se mostrado eficaz. Esses métodos oferecem um direcionamento claro para os tomadores de decisão em projetos do tipo EPC (*Engineering, Procurement, and Construction*) e EPCM (*Engineering, Procurement, Construction Management*), permitindo ajustes mais precisos no planejamento e execução. A combinação dessas técnicas possibilita identificar variações nos prazos e propor ações corretivas de forma dinâmica e adaptativa, garantindo maior controle sobre o desempenho do projeto. A principal contribuição do estudo reside na proposta de uma solução inovadora que supera as limitações da análise de valor agregado ao incorporar métricas históricas e suas tendências, tradicionalmente ignoradas. Isso resulta em uma gestão mais precisa e adaptada às realidades do projeto. Com sua capacidade de analisar mudanças de comportamento associadas à complexidade, o MITEC permite um replanejamento contínuo e adaptativo que se ajusta ao desempenho real do projeto, oferecendo maior flexibilidade e precisão. Além disso, o método possibilita monitorar e ajustar o desempenho do projeto, diferenciando as causas de descumprimento e suas respectivas contribuições, proporcionando uma ferramenta eficaz para mitigar e evitar desvios. A adoção do MITEC representa uma oportunidade de transformar a gestão de projetos complexos, oferecendo maior controle, previsibilidade e eficiência para os gestores.

Palavras-chave: Desempenho. Projeto. Suavização Exponencial. Análise de Valor Agregado. Planejamento.

Abstract

The study in question addresses the limitations of traditional Earned Value Analysis (EVA), which uses accumulated values up to the status date to generate indicators and final estimates, but does not adequately consider changes in project behavior over time. The study is organized into three main stages: identifying the limitations of the traditional method by inadequately weighting past data, without considering variations in actual cost behavior and the evolution of the project over time; bridging the gap in the practical application of the To-Complete Cost Performance Index (TCPI), providing a clear and structured approach for its use in developing recovery plans for schedules and costs; and incorporating complexity and uncertainty factors into the completion estimates, improving the forecasting of schedules and costs based on dynamic variables that directly impact project performance. The methodology used in the study is the Integrated Cost Trend and Equalization Method (MITEC), an innovative solution that combines exponential smoothing and linear interpolation to perform advanced trend analyses. This method enables the creation of dynamic and adaptive re-planning proposals, ensuring greater accuracy in the continuous adjustment of costs and schedules throughout the project life cycle. Exponential smoothing is used to weight historical data, prioritizing the most recent values, while linear interpolation facilitates the projection of future scenarios, allowing for quick responses to unexpected variations. Preliminary results from the study indicate that the application of MITEC in trend analysis and schedule recovery has proven effective. These methods offer clear guidance to decision-makers in EPC (Engineering, Procurement, and Construction) and EPCM (Engineering, Procurement, Construction Management) projects, allowing for more precise adjustments in planning and execution. The combination of these techniques enables the identification of schedule variations and the proposal of corrective actions in a dynamic and adaptive manner, ensuring greater control over project performance. The main contribution of the study lies in the proposal of an innovative solution that overcomes the limitations of earned value analysis by incorporating historical metrics and their trends, which are traditionally ignored. This results in more precise management, better adapted to the realities of the project. With its ability to analyze behavioral changes associated with complexity, MITEC allows for continuous and adaptive re-planning that adjusts to the actual project performance, offering greater flexibility and accuracy. Additionally, the method allows for monitoring and adjusting project performance, differentiating the causes of non-compliance and their respective contributions, providing an effective tool to mitigate and avoid deviations. The adoption of MITEC represents an opportunity to transform the management of complex projects, offering greater control, predictability, and efficiency for managers. By applying MITEC, managers can not only predict and adjust costs and schedules more accurately but also respond proactively to changes and challenges that arise throughout the project life cycle, thus ensuring more efficient execution aligned with strategic objectives.

Keywords: Performance. Project. Exponential Smoothing. Earned Value Analysis. Planning.

METODO ALTERNATIVO 01 – CALCULANDO O IDCR A PARTIR DE UMA RECUPERAÇÃO DE PRAZO E CUSTO

De acordo com Mattos [1],

> *"Ainda no campo da projeção de resultados, surge uma pergunta na mente do gerente: 'Se o projeto está saindo mais caro que previsto (IDC negativo), qual deve ser o IDC do trabalho restante para que não haja estouro de orçamento?'. É para responder a essa questão que surge mais um parâmetro de projeção do EVA, o Índice De Desempenho De Custos De Recuperação (IDCR), também conhecido pela sigla TCPI (*To-Complete Performance Index*). Enquanto o IDCR é um indicador dos custos já incorridos (passados), o TCPI é um indicador com foco no desempenho futuro".*

Vargas [2] afirma que "uma outra forma de forecasting é a utilização do TCPI como índice de desempenho de custo futuro que deve ser produzido para recuperar o CPI realizado até o momento, de modo a projetar um índice de desempenho de custos final igual a 1".

Matematicamente, o IDCR é dado pelo quociente entre o trabalho restante e os fundos restantes:

$$IDCR = \frac{ONT - VA}{ONT - CR}$$

Contudo, de acordo com as literaturas atuais, ainda há uma lacuna na aplicação prática do IDCR de modo a projetar um índice de desempenho de custos final igual a 1. Sendo assim, o método aqui proposto, pretende apresentar a partir de um projeto fictício uma sequência de etapas de modo a projetar um índice de desempenho de custos final igual a 1.

ETAPA 01: ANÁLISE DE TENDÊNCIA A PARTIR DO MÉTODO DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL

Para determinar a existência de uma tendência, é necessário coletar e analisar dados de desempenho passados. Esses dados podem ser desde o início do projeto ou de um período recente, dependendo da escolha do praticante. Eles podem representar todo o trabalho realizado ou apenas parte dele, conforme as condições de análise. A escolha do conjunto de dados adequado é o primeiro passo tanto para identificar quanto para quantificar a tendência.

"O método de previsão de suavização exponencial modifica o método de média móvel ao dar maior peso no último valor da série temporal e, em seguida, pesos progressivamente menores aos valores mais antigos" (Hillier e Hillier) [3]. Para aplicar a suavização exponencial com a proposta de identificar a tendência para o mês após data de status (abril-24), utilizaremos o seguinte cálculo (Figura 1):

Figura 1

$$\text{Previsão}_{t+1} = \alpha \cdot \text{Valor}_t + (1 - \alpha) \cdot \text{Previsão}_t$$

Fonte: Autor.

onde:

- Previsão (t+1) é a previsão para o próximo período.
- α é o fator de suavização (0 < α < 1), que determina o peso dado ao valor mais recente.
- Valor(t)é o valor real observado no período atual.
- Previsão(t) é a previsão feita para o período atual.

A partir da utilização do método de cálculo para os próximos três meses subsequentes à data de status, é possível identificar a tendencia, conforme a tabela abaixo (Figura 2).

Figura 2

Calendário	AF% Plan LB	AF% Realizado	Desvio no período	primeiro período da tendencia	segundo período da tendencia	terceiro período da tendencia
31 jan 24	3,96%	3,17%	-0,79%	3,17%	3,17%	3,17%
29 fev 24	8,61%	7,06%	-1,55%	7,06%	7,06%	7,06%
31 mar 24	11,63%	9,88%	-1,74%	9,88%	9,88%	9,88%
30 abr 24	13,53%	11,77%	-1,76%	11,77%	11,77%	11,77%
31 mai 24	14,39%	12,95%	-1,44%	12,95%	12,95%	12,95%
30 jun 24	14,23%			12,52%	12,52%	12,52%
31 jul 24	13,00%				11,47%	11,47%
31 ago 24	10,70%					9,48%
30 set 24	7,27%					
31 out 24	2,69%					

Fonte: Autor.

ETAPA 02: PROJEÇÃO DA RECUPERAÇÃO NA PERFORMANCE FÍSICA DO PROJETO

A análise de recuperação de performance de um projeto envolve a aplicação de técnicas que visam identificar o que é necessário para que o projeto volte ao seu ritmo planejado, tanto em termos de prazos quanto de custos. Esse cálculo é essencial quando o projeto apresenta um desempenho abaixo do esperado, como o Índice de Desempenho de Prazos (IDP) se encontra abaixo de 1, indicando que está gastando mais ou progredindo menos do que o previsto.

Conforme a prática recomendada da ACCE 50R-16: Tendência e previsão de cronograma CPM [4]

Se uma tendência for identificada, ela pode parecer maior do que realmente é devido à variação natural. Com o tempo, essa variação tende a regredir para a média. Portanto, o gerenciamento de projetos deve avaliar cuidadosamente o nível de ação corretiva necessário para lidar com uma tendência percebida. O gerente de projeto pode escolher entre as seguintes opções de ação:

- Implementar uma ação corretiva agressiva.
- Aplicar uma ação corretiva mais moderada, aguardando mais resultados antes de tomar medidas mais drásticas.
- Emitir um alerta, aguardando mais resultados antes de decidir por ações mais contundentes.

O cálculo de recuperação de performance aplica técnicas para realinhar o projeto ao ritmo planejado de prazos. Esse método é ideal quando o Índice de Desempenho de Prazos (IDP) está abaixo de 1, indicando progresso insuficiente. Para calcular a performance de recuperação do projeto, o ideal é considerar os três períodos iniciais da tendência (calculados anteriormente – Figura 2), com um pequeno ajuste gradual e a partir do terceiro período da tendência. A performance deverá receber um incremento maior para compensar o desvio acumulado, garantindo que o projeto esteja alinhado ao prazo final de 31/10/2024 (Figura 3). Essa abordagem permite uma recuperação progressiva, assegurando que o projeto se alinhe com os prazos e os objetivos financeiros estabelecidos.

Figura 3

Retomada LB	Calendário	AF% Plan LB	AF% Realizado	Calendário Recuperação	recuperação no período	Recuperação Acum
31-out-24	31-jan-24	3,96%	3,17%		3,17%	3,17%
	29-fev-24	8,61%	7,06%		7,06%	10,23%
	31-mar-24	11,63%	9,88%		9,88%	20,11%
	30-abr-24	13,53%	11,77%		11,77%	31,88%
	31-mai-24	14,39%	12,95%		12,95%	44,83%
	30-jun-24	14,23%		30-jun-24	15,90%	60,74%
	31-jul-24	13,00%		31-jul-24	14,57%	75,31%
	31-ago-24	10,70%		31-ago-24	12,04%	87,35%
	30-set-24	7,27%		30-set-24	9,23%	96,58%
	31-out-24	2,69%		31-out-24	3,42%	100,00%

Fonte: Autor

ETAPA 03: PROJEÇÃO DE RECUPERAÇÃO NA PERFORMANCE FINANCEIRA DO PROJETO

O cálculo de recuperação financeira aplica técnicas para realinhar a ESTIMATIVA PARA O TÉRMINO, baseada no orçamento original (otimista), assumindo-se que o trabalho remanescente será realizado com o custo orçado antes do início do projeto, de modo a projetar um índice de desempenho de custos final igual a 1. Para alcançar essa recuperação, o método proposto envolve o seguinte cálculo:

$$Custo\ de\ recuperação = \frac{ONTx\ \%\ recuperação\ m04}{IDCR}$$

O cálculo resultará em novas projeções financeiras por período ao longo dos meses, conhecidas como Projeção de Recuperação, que indicam o nível de economia ou eficiência necessária para que o orçamento do projeto seja respeitado até sua conclusão.

Dessa forma, é possível identificar (Figura 4) uma visão clara de como ajustar os custos mês a mês para manter o orçamento final dentro do planejado.

Figura 4

ORÇAMENTO TOTAL PREVISTO	CALENDÁRIO DO PROJETO	VALOR PREVISTO (Período)	VALOR AGREGADO (Período)	CUSTO REAL (Período)	Projeção (REC) (Período)	Proje Rec
R$ 1.000.000	31-jan-24	49.110	31.677	38.012	R$ 38.012	R$ 38.012
	29-fev-24	106.717	70.595	83.302	R$ 83.302	R$ 121.314
	31-mar-24	144.173	98.845	113.672	R$ 113.672	R$ 234.986
	30-abr-24	124.922	117.699	134.177	R$ 134.177	R$ 369.163
	31-mai-24	132.918	129.497	145.627	R$ 145.627	R$ 514.790
	30-jun-24	131.370	-	-	R$ 141.842	R$ 656.632
	31-jul-24	120.083	-	-	R$ 129.950	R$ 786.582
	31-ago-24	98.776	-	-	R$ 107.413	R$ 893.996
	30-set-24	67.127	-	-	R$ 82.348	R$ 976.344
	31-out-24	24.804	-	-	R$ 23.656	R$ 1.000.000

Fonte: Autor.

O Orçamento no Término (ONT) é de R$1.000.000. Até o momento, já foram incorridos R$514.790 em custos, enquanto o valor agregado (VA) alcançado é de R$448.313. Isso significa que o saldo agregado restante necessário para concluir o escopo da linha de base do projeto é de R$551.687. No entanto, o custo restante disponível para respeitar o orçamento do projeto é de R$485.210 (Figura 5).

Figura 5



Fonte: Autor.

METODO ALTERNATIVO 02 – CALCULANDO O ENT A PARTIR SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL DO IDC e IDP

De acordo com Mattos [1], A estimativa no término (ENT) é uma previsão que se faz para o custo total do projeto até sua conclusão. Ao contrário do ONT, a ENT leva em conta o desempenho até a data e projeta o custo final do projeto. A fórmula para obtenção da ENT baseado no desempenho de custos e prazo:

$$ENT = CR + (ONT - VA)/\ (IDC\ x\ IDP)$$

Contudo o método atual apresenta dois problemas principais que afetam a precisão da análise de desempenho do projeto. Primeiro, há falhas no cálculo do EVA acumulado, que resultam em distorções ao ponderar os dados passados de forma inadequada. Isso compromete a leitura correta do desempenho financeiro ao longo do tempo, dificultando a identificação de desvios. Além disso, o

método também sofre com a distorção de tendências, pois ignora mudanças no comportamento real do projeto, levando a previsões imprecisas e dificultando o ajuste adequado de custos e prazos (Figura 6).

Figura 6

Calendário	VP	VA	IDP	CR (Comportamento Descendente)	IDC	CR (Comportamento Ascendente)	IDC	CR (Comportamento Uniforme)	IDC	ENT - Custo e Prazo (Comportamento Descendente)	ENT - Custo e Prazo (Comportamento Ascendente)	ENT - Custo e Prazo (Comportamento Uniforme)
31-jan-24	R$ 49.110	R$ 31.677	0,6450	R$ 38.012	0,8333	R$ 33.131	0,9561	R$ 36.374	0,8709	R$ 38.012	R$ 33.131	R$ 36.374
29-fev-24	R$ 106.717	R$ 70.595	0,6615	R$ 83.302	0,8475	R$ 80.549	0,8764	R$ 81.063	0,8709	R$ 121.314	R$ 113.680	R$ 117.437
31-mar-24	R$ 144.173	R$ 98.845	0,6856	R$ 113.672	0,8696	R$ 122.181	0,8090	R$ 113.502	0,8709	R$ 234.986	R$ 235.861	R$ 230.939
30-abr-24	R$ 124.922	R$ 117.699	0,9422	R$ 134.177	0,8772	R$ 131.925	0,8922	R$ 135.152	0,8709	R$ 369.163	R$ 367.787	R$ 366.091
31-mai-24	R$ 132.918	R$ 129.497	0,9743	R$ 145.627	0,8892	R$ 147.003	0,8809	R$ 148.699	0,8709	R$ 514.790	R$ 514.790	R$ 514.790
30-jun-24										R$ 745.223	R$ 745.223	R$ 745.223
31-jul-24										R$ 956.337	R$ 956.337	R$ 956.337
31-ago-24										R$ 1.130.838	R$ 1.130.838	R$ 1.130.838
30-set-24										R$ 1.264.618	R$ 1.264.618	R$ 1.264.618
31-out-24										R$ 1.303.050	R$ 1.303.050	R$ 1.303.050
	R$ 557.840	R$ 448.313	0,80	R$ 514.790	0,87	R$ 514.790	0,87	R$ 514.790	0,87			

Fonte: Autor

Na situação de desempenho descendente, observa-se que os acréscimos nos custos tendem a diminuir ao longo do tempo, sugerindo uma convergência gradual entre os custos reais e o valor agregado. Apesar dessa melhora positiva, a Estimativa no Término (ENT) projetada permanece inalterada. No desempenho ascendente, o projeto apresenta gastos progressivamente maiores, o que deveria indicar um aumento significativo no orçamento final. Contudo, a ENT projetada também não sofre alteração, ignorando o impacto do crescimento dos custos reais. Já na situação de desempenho uniforme, o desvio em relação ao valor agregado mantém-se constante, com os custos reais 1,15% acima do planejado em cada período, sem sinais de melhora ou piora.

Ao analisar os três comportamentos – Descendente, Ascendente e Uniforme – verifica-se que a ENT, fixada em R$ 1.303.050, não reflete as variações nos custos reais. Essa constância revela uma incoerência no modelo de projeção, uma vez que diferentes padrões de comportamento deveriam gerar estimativas de término distintas. A análise sugere que o método atual não incorpora adequadamente o comportamento histórico dos custos do projeto até data de status, comprometendo assim os resultados para análise de tendências.

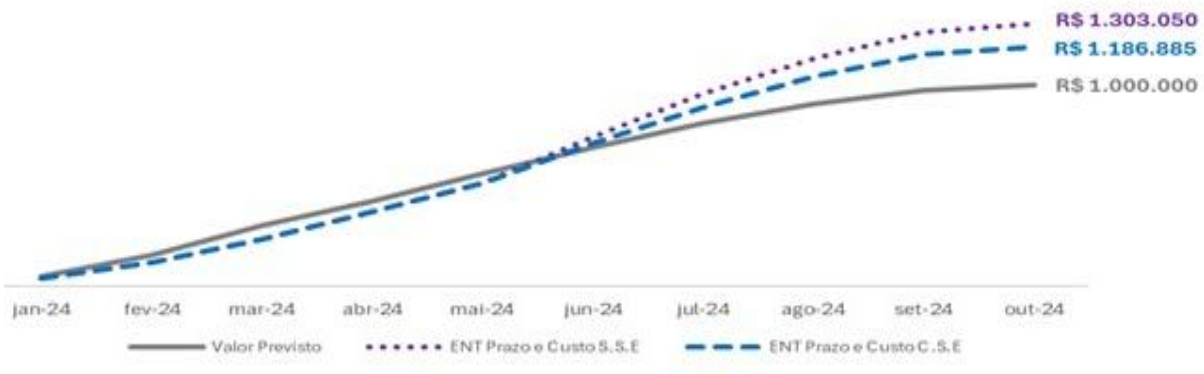
A aplicação do método de suavização exponencial aos indicadores de IDP e IDC permite uma análise mais precisa, especialmente em cenários onde os gastos estão acima do valor agregado, mas apresentam uma tendência de queda. No exemplo ilustrado abaixo (Figura 7), observa-se que, embora o projeto ainda esteja com despesas acima do valor agregado, esses gastos diminuem gradualmente a cada mês. Ao aplicar a suavização exponencial com um α=0,7, é possível observar uma redução no valor total da ENT (Estimativa no Término) em comparação com a ENT sem suavização (Figura 8). Esse ajuste proporciona uma visão mais realista da evolução dos custos e prazos, facilitando uma interpretação mais precisa e informada dos resultados do projeto.

Figura 7

ORÇAMENTO TOTAL PREVISTO	CALENDÁRIO DO PROJETO	VALOR PREVISTO (Período)	VALOR AGREGADO (Período)	CUSTO REAL (Período)	IDP Acum	IDP com Suavização Exponencial	IDC Acum	IDC com Suavização Exponencial	EPT sem S.É para Desempenho de Custo e Prazo	EPT com S.É para Desempenho de Custo e Prazo	ENT sem S.É para Desempenho de Custo e Prazo	ENT com S.É para Desempenho de Custo e Prazo
R$ 1.000.000	31 jan 24	49.110	31.677	38.012		alfa 0,70		alfa 0,70				
	29 fev 24	106.717	70.595	83.302		0,645		0,833				
	31 mar 24	144.173	98.845	113.672		0,657		0,843				
	30 abr 24	124.922	117.699	134.177		0,677		0,862				
	31 mai 24	132.918	129.497	145.627		0,863		0,873				
	30 jun 24					0,941		0,884				
	31 jul 24											
	31 ago 24											
	30 set 24											
	31 out 24											
		R$ 557.840	R$ 448.313	R$ 514.790	0,804	0,941	0,871	0,873	R$ 788.260	R$ 672.095	R$ 1.303.050	R$ 1.186.885

Fonte: Autor

Figura 8



Fonte: Autor

O uso correto do fator de suavização, α, é essencial para uma análise eficaz no método de suavização exponencial. A escolha do valor de α permite calibrar os resultados de forma precisa, ajustando-se ao comportamento específico do projeto e às causas de descumprimento previamente identificadas. Cada causa de descumprimento, seja ela de impacto gradual ou abrupto, exige um valor adequado de α para refletir sua influência no desempenho de custo e prazo do projeto.

De acordo com (Hillier e Hillier) [3]., a escolha do valor para a constante de suavização α tem efeito substancial na previsão, de modo que a escolha deve ser feita com cuidado. Um valor pequeno (digamos, α= 0,1) é adequado se as condições se mantiverem relativamente estáveis. No entanto, um valor maior que (α= 0,3) será necessário se alterações significativas nas condições ocorrerem com relativa frequência. Quando o α é bem ajustado para cada situação, ele permite que a suavização exponencial responda de forma proporcional à intensidade e à frequência dos desvios.

SOLUÇÃO ALTERNATIVA - CALCULANDO A ESTIMATIVA PARA O TÉRMINO (ENT) DESEMPENHO DE CUSTO E PRAZO MAIS FATOR DE COMPLEXIDADE E INCERTEZA

A complexidade do projeto está relacionada ao grau de inter-relação entre seus atributos e interfaces, impactando sua previsibilidade e funcionalidade [5][6]. Já o risco envolve eventos incertos e desconhecidos que podem afetar o projeto. Enquanto a complexidade considera características conhecidas, o risco lida com a incerteza quanto a eventos futuros (CII, p. 4). Para a estruturação do

modelo, foram utilizadas as classificações de complexidade organizacional, estrutural, técnica e temporal, apresentadas pela GLIC e FAS.

- Complexidade organizacional
- Complexidade estrutural
- Complexidade técnica
- Complexidade temporal

Essas complexidades foram agrupadas em dois grandes blocos:

1. Complexidade Temporal: Este tipo de complexidade está associado a projetos que enfrentam fatores de influência constantes em um ambiente incerto. Inclui eventos e mudanças inesperadas que podem impactar significativamente o andamento do projeto, como alterações legislativas, impactos ambientais, flutuações econômicas (exemplo: aumento do dólar), variações nos custos de materiais.
2. Complexidade Holística: Este bloco engloba três subcategorias distintas:
   2.1. Complexidade Estrutural: Refere-se a projetos onde há dificuldade em gerenciar atividades interconectadas, devido ao potencial não linear. Aqui, as atividades são interdependentes, e problemas em uma área podem causar efeitos imprevisíveis em outras.
   2.2. Complexidade Técnica: Envolve desafios relacionados ao design e detalhes técnicos, especialmente em projetos que lidam com novas tecnologias, materiais inovadores ou metodologias emergentes, onde o desconhecimento técnico aumenta a complexidade.
   2.3. Complexidade Direcional: Aplica-se a projetos que têm dificuldades na definição de metas e objetivos claros. Os requisitos frequentemente são vagos, e os objetivos e metas podem não estar totalmente compreendidos ou alinhados entre os diferentes níveis hierárquicos.

Para ambos os blocos de complexidade – temporal e holística – foram atribuídos dois campos principais: situação e peso (Figura 9), que visam avaliar a relevância e o impacto dessas complexidades no orçamento e no andamento do projeto.

Figura 9

COMPLEXIDADE&INCERTEZA	SITUAÇÃO	PESO (significância dentro do projeto)
Temporal Projetos que possuem fatores de influência constantes em um ambiente incerto são caracterizados pela complexidade temporal. Esse tipo de complexidade surge devido a mudanças e eventos inesperados que podem impactar significativamente o andamento do projeto. Exemplos incluem mudanças legislativas inesperadas, impactos ambientais, flutuações econômicas como o aumento do dólar, variações nos custos de materiais, escassez de mão de obra qualificada, e instabilidades políticas.	Contabilizado	20%
Holística Complexidade Estrutural: Esta categoria abrange projetos onde há dificuldade em gerenciar atividades interconectadas, devido ao potencial não linear do projeto. As atividades são altamente interdependentes, o que significa que mudanças ou problemas em uma área podem ter efeitos imprevisíveis em outras. Complexidade Técnica: Projetos com alta complexidade técnica enfrentam desafios no design e nos detalhes técnicos. Essa complexidade está associada ao desconhecimento de aspectos técnicos e de design, como novas tecnologias, materiais inovadores ou metodologias emergentes. Complexidade Direcional: Esta dimensão refere-se a projetos que apresentam dificuldades na definição de metas e objetivos claros. Frequentemente, os requisitos do projeto são vagos, e as metas e objetivos não são compreendidos ou acordados nos diferentes níveis hierárquicos.	Baixo Impacto	30%

Fonte: Autor

CAMPOS DE AVALIAÇÃO

1. Situação:
   1.1. Contabilizado: Utilizado quando a complexidade já foi previamente mapeada e considerada durante a elaboração do orçamento do projeto. Nesse caso, os impactos foram previstos e acomodados nos valores orçados, o que reduz a chance de surpresas no decorrer do projeto.
   1.2. Baixo Impacto: Aplica-se a complexidades que não foram mapeadas previamente, mas que, após avaliação, são consideradas de baixo impacto nos custos ou na execução do projeto. Esse cenário indica que o fator de complexidade pode ser gerenciado sem a necessidade de ajustes significativos.

1.3. Alto Impacto: Usado quando uma complexidade não mapeada previamente é identificada e considerada de alto impacto sobre os custos e o cronograma. Aqui, é provável que essa complexidade exija reavaliação dos recursos e possíveis revisões de orçamento e planejamento.

2. Peso: Representa o percentual de significância da complexidade dentro do projeto. Esse valor é atribuído para indicar a influência que a complexidade exerce sobre o orçamento e o sucesso do projeto, permitindo uma priorização dos fatores que mais exigem atenção e gestão.

Integrar a análise de complexidade ao cálculo da Estimativa no Término (ENT) é essencial para melhorar a precisão nas projeções de custos de um projeto. A complexidade envolve o grau de interdependência e a interação entre os diversos componentes do projeto, como logística, equipes, interfaces de sistemas e processos regulatórios. Esses fatores afetam diretamente a previsibilidade das atividades e o esforço necessário para alcançar os resultados desejados.

Quando incluímos a análise de complexidade na ENT, é possível identificar os elementos internos que podem contribuir para desvios de custo ou demandas adicionais de recursos. Diferentemente de riscos, que são eventos incertos, a complexidade se refere a fatores conhecidos que aumentam a probabilidade de variações nos custos, devido à própria estrutura do projeto e às interações entre suas partes. Projetos com alta complexidade estrutural, por exemplo, geralmente exigem maior monitoramento e flexibilidade, pois possuem mais interfaces e dependências.

Ao considerar a complexidade (Figura 10), a ENT não apenas reflete os custos e prazos projetados com base nos dados históricos, mas também incorpora um ajuste fundamentado nos desafios específicos da execução. Isso permite uma análise de projeção de custos mais robusta, fornecendo aos gestores uma visão mais realista dos recursos necessários e das possíveis alocações adicionais, e ajudando a minimizar a ocorrência de surpresas financeiras ao longo do ciclo de vida do projeto.

Figura 10

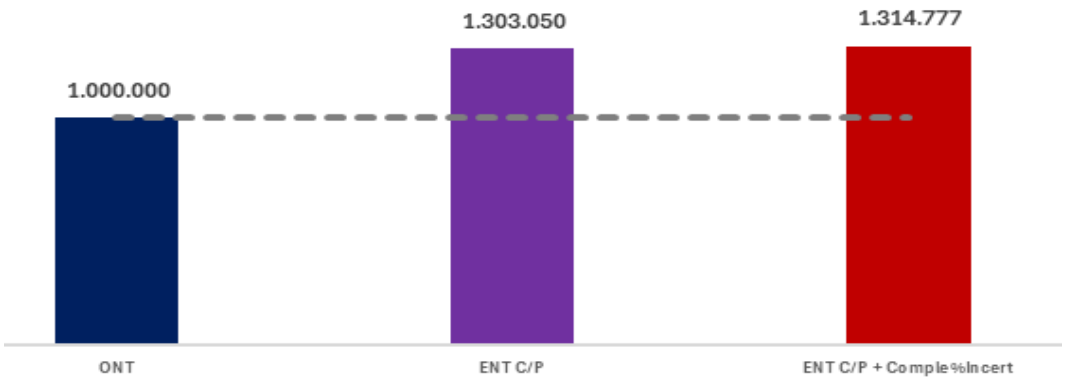


Imagem 1

CONCLUSÃO

O BIM (*Building Information Modeling*) é amplamente utilizado para melhorar a precisão e o controle durante todo o ciclo de vida do projeto, oferecendo uma plataforma unificada para o planejamento, execução e manutenção. O “I” no BIM, que representa a informação, é crucial, pois é nele que reside o poder de consolidar e gerenciar dados complexos. No contexto do MITEC (Método Integrado de Tendência e Equalização de Custos), o "I" do BIM ganha uma função analítica mais avançada. Isso ocorre porque o MITEC integra dados históricos e previsões, permitindo a criação de cenários futuros

com uma precisão muito maior. Esse processo é facilitado por técnicas como a suavização exponencial, que pondera os dados mais recentes, permitindo que o BIM reflita as condições atuais e as tendências de evolução do projeto. Com esse nível de análise, os gestores têm a capacidade de tomar decisões informadas e em tempo real, ajustando tanto os custos quanto os prazos de forma proativa para evitar desvios e problemas futuros.

O MITEC potencializa o BIM ao oferecer uma estrutura de análise que incorpora fatores como complexidade e incertezas com seus respectivos pesos, considerando a natureza temporal ou holística desses fatores, ajustando o cronograma e os custos com base nas variações observadas ao longo do projeto. O uso contínuo dessas informações permite previsões mais precisas, e a integração de tendências no BIM transforma essa ferramenta em um repositório que apoia não apenas o planejamento inicial, mas também a adaptação e o replanejamento ao longo do ciclo de vida do projeto. Esse modelo preditivo é particularmente essencial em projetos de engenharia complexos, como os do tipo EPC (*Engineering, Procurement, and Construction*), onde mudanças frequentes e ajustes são necessários devido às complexidades inerentes ao tipo de obra e ao ambiente no qual é executada. Em projetos desse porte, alterações impactam diretamente os custos e prazos, e a capacidade de prever e ajustar a partir de dados confiáveis e atualizados é uma vantagem estratégica.

Um dos diferenciais importantes do MITEC é sua capacidade de analisar e diferenciar as causas de descumprimento no projeto. Causas de descumprimento podem incluir problemas como falta de materiais, atrasos de fornecedores, ou mudanças nas especificações técnicas. Quando essas informações são integradas ao BIM, o modelo ganha uma função preditiva poderosa, na qual as projeções de término e de custos se ajustam conforme novos dados são inseridos. Esse ajuste contínuo melhora a qualidade das informações disponíveis para os gestores, ajudando na mitigação de incertezas e na implementação de ações corretivas de forma oportuna. Em outras palavras, o MITEC, ao alimentar o BIM com informações detalhadas e atualizadas, permite uma gestão mais precisa e adaptável, transformando o BIM em uma ferramenta de apoio à decisão estratégica.

Em resumo, o MITEC amplia significativamente o potencial do BIM como uma ferramenta integrada de gestão, transformando o "I" em um componente essencial para o controle adaptativo e dinâmico do projeto. Ao fornecer uma visão detalhada e precisa dos fatores de custo e prazo, o MITEC contribui para transformar a metodologia BIM em um sistema de apoio à decisão, orientado por dados. A adoção dessa abordagem não só traz previsibilidade, mas também aumenta a eficiência e a adaptabilidade do projeto, possibilitando que os gestores enfrentem os desafios da complexidade e da incerteza com uma base de dados sólida e confiável. Em última análise, o uso do MITEC em conjunto com a metodologia BIM oferece uma nova perspectiva de controle e ajuste contínuo, que eleva o gerenciamento de projetos a um novo patamar, com maior precisão, previsibilidade e capacidade de resposta frente a variáveis dinâmicas e complexas.

REFERÊNCIAS

[1] MATTOS, ALDO DÓREA. Planejamento e controle de obras. São Paulo: Pini, 2010. P. 367

[2] VARGAS, RICARDO VIANA. Análise de valor agregado: revolucionando o gerenciamento de prazo e custo. Rio de Janeiro, Brasport, 2011. p. 48.

[3] HILLIER, F. S.; HILLIER, M. S. Introdução à ciência da gestão: modelagem e estudos de caso com planilhas e planilhas eletrônicas. Porto Alegre, 2014. p.381, p.396 e p.397

[4] AACE INTERNATIONAL. Tendência e previsão de cronograma CPM: Recommended n° 50R-16, 2019

[5] CII. *A Guide to Assessing and Managing Project Complexity: Implementation Resource* 305-2.

[6] GLIC, FAS. Complexidade de projetos define a metodologia de gestão mais adequada. Disponível em: https://glicfas.com.br/complexidade-em-gerenciamento-de-projetos/#:~:text=A%20an%C3%A1lise%20da%20complexidade%20do,como%20uma%20das%20mais%20cruciais. Acesso em: 20 outubro 2024.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Modelo de maturidade para a gestão e segurança da informação da construção

Maturity model for building information management and security

Eduardo Ribeiro dos Santos | Universidade Federal do Rio de Janeiro | contato@duduribeiro.com.br
Monica Santos Salgado | Universidade Federal do Rio de Janeiro | monicassalgado@fau.ufrj.br
Sergio Scheer | Universidade Federal do Paraná | sergioscheer@gmail.com

DOI: 10.5281/zenodo.14475315

Resumo

A adoção da Modelagem da Informação da Construção, conhecido também como BIM (*Building Information Modeling*), pelos escritórios de arquitetura brasileiros vem aumentando rapidamente a cada ano. Esta adoção se dá devido aos inúmeros benefícios que o BIM proporciona aos arquitetos em seu processo de tomada de decisão projetual. Porém, para adoção da metodologia, novas demandas começam a surgir. Dentre elas, podemos apontar os aspectos da gestão e segurança da informação, pois ao usar o BIM, as informações relacionadas aos aspectos físicos e funcionais do edifício passam a estar em um formato de dados digitais que não somente podem ser lidos e interpretados por computadores, mas são passíveis de serem transformados por este em dados inteligentes. Com isso, torna-se factível a não necessidade de um profissional especialista não somente para extrair as informações da edificação, mas também para manipulá-las, editá-las ou apagá-las. Isto faz com que estes dados e consequentemente essas informações se tornem vulneráveis a ataques cibernéticos, sendo eles intencionais ou acidentais. Ao considerar estes aspectos, é essencial que os arquitetos, ao utilizarem BIM no desenvolvimento de seus projetos, empreguem estratégias para proteger os dados e as informações do edifício. Este artigo, parte do resultado de uma pesquisa de doutorado, apresenta um modelo de maturidade para a adoção da gestão e segurança da informação, especificamente adaptado a empresas de arquitetura que utilizam o BIM no desenvolvimento de seus projetos. O modelo é estruturado com base nas diretrizes encontradas na ABNT NBR ISO 19650 partes 1 e 2, ISO 19650 partes 4 e 5, bem como na Lei Geral de Proteção de Dados, ABNT NBR ISO 27001 e outras diretrizes relevantes. Além disso, foi desenvolvida uma matriz de riscos em conjunto com uma análise de documentos de empresas associadas ao BIM Fórum Brasil e órgãos públicos que incorporaram o BIM no desenvolvimento de seus projetos. Como resultado, o modelo de maturidade descreve caminhos e apresenta 5 conjuntos de diretrizes para que as empresas de arquitetura implementem medidas que garantam a segurança da informação durante todo o desenvolvimento do projeto. Estes conjuntos de diretrizes focam nas etapas de iniciação, planejamento, abordagem, controle de qualidade, assim como novas diretrizes para a gestão e segurança da informação. O modelo de maturidade proposto também pode ser utilizado para o diagnóstico da empresa em relação as questões acerca da gestão e segurança da informação. Com isso as empresas podem avaliar e estabelecer quais medidas deverão ser adotadas em um processo de melhoria contínua. Como contribuição, este trabalho coloca em discussão as questões sobre a segurança da informação quando o BIM é utilizado no desenvolvimento de projetos, pouco tratada pelos escritórios de projetos, assim como faz com que as diretrizes contribuam para o avanço da adoção do BIM, considerando os riscos associados aos processos inovadores.

Palavras-chave: BIM. Gestão da Informação. Segurança da Informação. Modelo de Maturidade. NBR ISO 19650

Abstract

The adoption of Building Information Modeling (BIM), by Brazilian architecture firms has been rapidly increasing each year. This adoption is due to the numerous benefits that BIM provides to architects in their design decision-making process, but new demands are beginning to emerge. Among them, we can point out the aspects of information management and security. By using BIM, information related to the physical and functional aspects of the building becomes digital data that can not only be read and interpreted by computers but can also be transformed into intelligent data when processed. This makes it feasible not to require a specialist professional not only to extract the building's information but also to manipulate, edit, or delete it. This makes this data and consequently this information vulnerable to cyber-attacks, whether intentional or accidental. Considering these aspects, it is essential that architects, when using BIM in their project development, employ strategies to protect the building's data and information. This article, part of the result of PhD research, presents a maturity model for the adoption of information management and security, specifically adapted to architecture firms that use BIM in their project development. The model is structured based on the guidelines found in ABNT NBR ISO 19650 parts 1 and 2, ISO 19650 parts 4 and 5, as well as the General Data Protection Law, ABNT NBR ISO 27001, and other relevant guidelines. Additionally, a risk matrix was developed in conjunction with an analysis of documents from companies associated with the BIM Forum Brazil and public agencies that have incorporated BIM in their project development. As a result, the maturity model describes paths and presents 5 sets of guidelines for architecture firms to implement measures that ensure information security throughout the project development. These sets focus on guidelines for initiation, planning, approach, quality control, as well as new guidelines for Information Management and Security. The proposed maturity model can also be used to verify the current stage in which the company is in relation to information management and security issues. With this, companies can evaluate and establish which measures should be adopted in a continuous improvement process. As a contribution, this work discusses the issues of information security when BIM is used in project development, which is rarely addressed by design offices, as well as making the guidelines contribute to the advancement of BIM adoption, considering the risks associated with innovative processes.

Keywords: BIM. Information Management. Information Security. Maturity Model. NBR ISO 19650

INTRODUÇÃO

Instituições governamentais e empresas vêm sofrendo com um aumento crescente de incidentes de segurança. As pesquisas realizadas na área acadêmica sobre o assunto focam principalmente em aspectos técnicos em relação aos sistemas, redes e segurança física [1]. Tratar somente as questões relacionadas à tecnologia não é suficiente para a que a segurança da informação aconteça, sendo necessário identificar as conexões com outras áreas visando abordar assuntos sobre gestão, governança, processos, procedimentos e aspectos humanos.

O Fórum Econômico Mundial, em seu relatório de 2024 sobre a visão global da segurança cibernética, destaca que a maioria das organizações não está adequadamente equipada para enfrentar os desafios relacionados à segurança da informação. Vários fatores contribuem para isso, incluindo o custo elevado de implementação de ferramentas de segurança, o aumento na quantidade e variedade de malwares, o avanço e uso da inteligência artificial generativa, a escassez de profissionais qualificados para lidar com essas questões e, sobretudo, o desejo de adotar novas tecnologias para impulsionar o negócio [2].

À medida que a adoção BIM (*Building Information Modeling*) e o uso crescente das TICs (Tecnologias de Informação e Comunicação) pela indústria da construção civil ocorre, torna-se relevante abraçar o conceito de trabalho colaborativo. Isso implica não apenas em uma maior abertura e transparência, mas também no compartilhamento e uso de modelos detalhados com uma grande quantidade de informação. Este conjunto de informação é gerado a partir de dados em formato digital, que são lidos, compreendidos e processados pelo computador, transformando-os em dados inteligentes. Com isso, a possibilidade de extração desta informação por pessoas que não são profissionais especialistas da área se torna cada dia mais real.

Este artigo parte de uma tese de doutorado e tem como objetivo apresentar um modelo de maturidade para a adoção da Gestão e Segurança da Informação da Construção (BIMS). Para isso, foi utilizado uma análise de risco para identificar diretrizes de gestão e segurança da informação (GSI) das normas: ABNT ISO 19650 partes 1 e 2, ISO partes 4 e 5; ABNT ISO 27001 e da LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados - Lei brasileira que trata sobre a Proteção de Dados). Como resultado, é apresentado um modelo de maturidade com 5 conjuntos de diretrizes para GSI. Estes conjuntos de diretrizes visam não somente avaliar as empresas de projeto, mas também orientar em relação aos passos a serem dados para que a produção da informação colaborativa seja realizada de forma Segura.

GESTÃO E SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO (GSI) NO CONTEXTO BIM

A segurança da informação, apesar de envolver um conjunto de pessoas, processos e tecnologia [3] [4], é tratada em diferentes campos: confidencialidade, integridade, disponibilidade, legalidade, autenticidade, Auditabilidade e não repúdio. A complexidade dos ambientes organizacionais referentes às empresas de projetos, construção, operação e manutenção faz com que a tomada de decisão sobre o desenvolvimento das edificações seja baseada em informações. Com isso cada vez mais torna-se necessário realizar a gestão e segurança da informação.

Com o objetivo de orientar os profissionais durante a adoção BIM, a Organização Internacional de Normalização (ISO) vem estabelecendo normativas no que se refere à gestão da informação para a utilização da Modelagem da Informação da Construção. Dentre as normas podemos destacar a série ISO 19650. Dividida em 6 partes, objetiva melhorar a entrega de informações no que se refere às especificações projetuais ao utilizarem as TICs [5].

Turk *et al.* [6] destacam que as fases de desenvolvimento de projetos que usam intensivamente a informação são as mais vulneráveis aos riscos de cibersegurança. Os principais incidentes de cibersegurança na construção civil incluem violação de dados e perda de propriedade da informação [7]. Peres [8] ressalta a ocorrência de ataques cibernéticos que, embora não causem danos, têm como objetivo o reconhecimento, mapeamento e espionagem de informações, como em uma instalação do setor elétrico, por exemplo.

No Brasil, em 14 de agosto de 2018 foi instituída a Lei Federal Nº 13.709 que estabeleceu regras para o tratamento e proteção de dados pessoais, esta lei é conhecida como Lei Geral de Proteção de Dados ou LGPD [9]. Além disso, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) vem publicando normas específicas, como por exemplo a NBR ISO/IEC 27001 que trata dos requisitos para os sistemas de GSI. Esta norma, assim como a ISO 19.650-5 e a LGPD, impactam diretamente a indústria AECO e todo o processo de concepção, execução, operação e manutenção da edificação.

O conceito de “risco” evoluiu ao longo do tempo. Na pré-modernidade, era visto de forma neutra, associado à probabilidade de ganho ou perda. Na era moderna, passou a ser associado a um fator negativo de perigo [10]. Hoje, o risco está ligado à incerteza em relação aos objetivos estratégicos de uma organização, podendo representar tanto ameaças quanto oportunidades [11] [12]. Já para a segurança da informação, risco é entendido como a possibilidade de uma ameaça específica se aproveitar das fraquezas de um determinado recurso, ou de um conjunto de recursos [13].

Fica evidente, portanto, a urgência de se pensar práticas e mecanismos que possam proteger os dados digitais relacionados ao processo de desenvolvimento de projetos, especialmente considerando a colaboração e interoperabilidade inerentes à metodologia BIM.

MÉTODO

Para a avaliação de risco o recorte escolhido foi o campo da legalidade considerando os aspectos apresentados NBR ISO 19650 parte 1 [14] que trata dos conceitos e princípios da gestão da informação; e NBR ISO 19650 parte 2 [15] relacionada à fase de entrega de ativos, ISO 19650 parte 4 [16] com informações sobre os mecanismos para troca de informações; ISO 19650 parte 5 [17] com a abordagem de segurança para a gestão das informações; LGPD - Lei geral de proteção de dados [9] e NBR ISO/IEC 27001 [18] que trata da segurança da informação, segurança cibernética e proteção da privacidade.

Para as etapas de identificação e análise dos riscos, as referidas normas e lei foram analisadas e consolidadas com o objetivo de identificar aspectos que determinassem diretrizes para GSI. O Resultado desta análise culminou em um total de 59 diretrizes (a serem apresentadas no modelo de maturidade)

Em relação a avaliação dos riscos utilizou-se uma matriz de probabilidade e impacto (MPI). Para que a MPI fosse preenchida, foi realizada uma análise documental cujo recorte considerou empresas de projeto e consultoria associadas ao BIM Fórum Brasil e órgãos públicos que atuam como contratantes e como contratados no desenvolvimento de processo de projeto de arquitetura. O objetivo desta análise documental foi entender como são tratadas as questões relacionadas à gestão e a segurança da informação quando estão utilizando BIM e confrontar com as diretrizes identificadas através das práticas utilizadas por estas empresas.

RESULTADOS E PROPOSTA: MODELO DE MATURIDADE PARA GESTÃO E SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO (GSI)

Para o desenvolvimento do Modelo de Maturidade foram considerados os documentos fornecidos. No total, 9 empresas e órgãos públicos contribuíram com 94 documentos para a pesquisa. Dentre estes documentos estão: Escopo de contratação; Termos e acordos de confidencialidades; Contratos e Contrato de Compliance; Diretrizes de projeto; Políticas de gestão de terceiros; Edital; Termos de Referência; Manuais BIM; Caderno de Projetos BIM; e Protocolos de Segurança de Dados.

Após a identificação e classificação de risco das diretrizes para a GSI, se estabeleceu uma estratégia para nortear a adoção das respectivas diretrizes. Esta estratégia resultou no Modelo de Maturidade apresentado neste artigo.

A importância desse modelo está na chance que proporcionam às empresas para a implementação do BIM, especialmente porque existem organizações que hesitam em adotar o BIM devido à complexidade em escolher as técnicas de implementação mais adequadas. Da mesma forma, para as empresas que buscam aprimorar suas entregas BIM, principalmente nas questões sobre a segurança da informação, esses modelos são valiosos, pois oferecem diretrizes para identificar e priorizar as etapas subsequentes.

Os Modelos de Maturidade são construídos para a gestão do conhecimento, governança de tecnologia da informação e Modelagem da Informação da Construção, variando de acordo com a dimensão da empresa, setor de atuação, localização e perspectivas organizacionais [19]. Lima et al [20] afirmam que a estrutura de um modelo de maturidade deve contemplar três fatores: objetivos, questões e métricas. Os objetivos definem as diretrizes do modelo, as questões auxiliam na identificação de diretrizes adotadas em uma etapa específica, e a métrica define o grau de maturidade da empresa.

Considerando o exposto, no modelo proposto foram estabelecidos 5 Conjuntos de Diretrizes: Iniciação ao GSI, Planejamento da GSI, Abordagem da GSI, Controle de Qualidade da GSI e Novas Diretrizes para GSI, conforme apresentado na imagem 1 [21].

Diferentemente de alguns Modelos de Maturidade existentes, este não utiliza o termo “níveis”, nem “etapas” e nem “fases”. Isso ocorre porque as empresas podem cumprir várias diretrizes em conjuntos diferentes simultaneamente, atingindo diferentes níveis de maturidades. Assim, a maturidade é avaliada em duas esferas, uma em cada Conjunto de Diretrizes e outra de forma geral.

Para o agrupamento das 59 diretrizes em seus respectivos conjuntos, realizou-se uma análise da relação entre estas buscando estabelecer uma sequência lógica entre atividades/decisões predecessoras e sucessoras. Por exemplo: antes de “*desenvolver o planejamento, implementação, controle dos processos e registros para a operação do SGSI*”, é necessário “*realizar o planejamento do SGSI*”. Portanto, a primeira diretriz citada deve estar em um conjunto de diretrizes posterior ao da segunda citada.

Figura 1 – Conjunto de diretrizes

Conjunto de Diretrizes			
1 - Iniciação para GSI	**2 - Planejamento da GSI**	**3 - Abordagem da GSI**	**4 - Controle de Qualidade da GSI**
Estabelecer requisitos de segurança da informação no OIR (Requisitos de Informação da Organização)	Entender a gama de riscos à segurança	Estabelecimento do relatório de impacto à proteção de dados pessoais	Registrar o resultado da avaliação de sensibilidade
Estabelecer requisitos de segurança da informação no PIR (Requisitos de Informação do Projeto)	Identificar sensibilidades organizacionais	Planejamento, implementação e controle dos processos para a operação do SGSI	Estabelecer o registro de riscos da equipe de entrega
Estabelecer requisitos de segurança da informação no EIR (Requisitos de Troca da Informação)	Empreender um processo de avaliação de sensibilidade	Documentar as questões sobre o SGSI	Gerenciar a prestação de contas e responsabilidade pela segurança
Determinar se uma abordagem com espírito de segurança é necessária	Estabelecer quais são a sensibilidade de terceiros	Estabelecer o processo de comunicação	Documentar os riscos residuais e tolerados de segurança
Necessidade de uma abordagem de segurança usando um processo de avaliação de sensibilidade	Realizar o planejamento do Sistema de Gestão e Segurança da Informação (SGSI), estabelecendo recursos para implementar, manter e	Estabelecer os padrões de esquema aberto	Registrar o resultado da aplicação do processo de triagem de segurança
Definir os objetivos da segurança da informação	Desenvolver um plano de gestão de segurança da informação	Estabelecer os formatos de dados abertos	Arquivar o modelo de informação do projeto
Estabelecer política de segurança da informação	Desenvolver uma estratégia de segurança da informação	Tratamento de riscos da segurança da informação	Monitoramento e auditoria
	Desenvolver um plano de gerenciamento de falhas de segurança/incidentes	Estabelecer o fornecimento de um ambiente comum de dados (CDE)	Revisão da avaliação da sensibilidade
	Estabelecer medidas de segurança, técnicas e administrativas aptas a proteger os dados pessoais de acessos não autorizados e de situações	Iniciar a abordagem de segurança	Revisão da estratégia de segurança
	Definição de uma matriz de responsabilidades	Realizar a Comunicação internas e externas para o SGSI	Revisão do plano de gestão de segurança
	Estabelecer governança e responsabilidade pela abordagem de segurança	Desenvolver medidas de mitigação de riscos de segurança	Realizar a avaliação em relação aos riscos referentes à segurança da informação
	Estabelecer o(s) provedor(es) da informação e do encarregado dos dados	Estabelecer os critérios para checar a disponibilidade de informações de referência e recursos compartilhados	
	Estabelecer o(s) receptores(es) da informação		
	Definição dos agentes de tratamento dos dados		
	Definição do agente controlador dos dados		
	Definição do agente operador dos dados		
	Estabelecer o(s) revisor(es) da informação		
	Definição de quem será o responsável pela entrega da informação		
	Definição dos papéis e funções na gestão da informação		
	Estabelecer o planejamento para a entrega de informação		
	Definição do Ciclo de entrega da informação		
	Definir os critérios de revisão da troca de informação		
	Critérios para o fornecimento de informações a terceiros		
	Estabelecer a Segurança logística		
	Desenvolvimento da abordagem de segurança		
	Determinar os estágios/fases para a troca de informação		
	Definir o processo para a troca da informação		
	Estabelecer os acordos relacionados a propriedade intelectual		
	Realizar a Conscientização da política de segurança		

Fonte: Santos [21]

Dentre os conjuntos estabelecidos, o quinto não possui nenhuma diretriz, é um conjunto feito para agrupar novas diretrizes levantadas de outras normas e/ou leis, assim como de diretrizes específicas definidas para um determinado projeto que não estão elencadas nos conjuntos anteriores. Este conjunto visa um fluxo de melhoria contínua no processo de GSI.

MÉTRICAS DO MODELO DE MATURIDADE

No que se refere à métrica para a determinação do grau de maturidade, tomou-se como referência o estabelecido pelo *Organizational BIM Assessment – Version 1.03* [22], ajustado para que pudesse atender as necessidades do modelo e o resultado seja apresentado em termos percentuais. Com isso, a fórmula para determinar o grau (em porcentagem) do modelo de maturidade é:

GM = (QA/QP) * 100, onde:

- GM é o Grau de Maturidade,
- QA é a Quantidade total de diretrizes atendidas e
- QP é a Quantidade total de diretrizes possíveis.

Além de apresentar o grau de maturidade em termos percentuais, é essencial que este seja classificado, determinando se uma empresa está em um estágio inicial, intermediário ou avançado em relação à adoção do BIMS dentro de um conjunto de diretrizes específico e de forma geral.

A definição das classificações, geralmente, é baseada em sistemas de pontuação, mas não segue uma regra específica. Diante disso, propôs-se a seguinte classificação do grau de maturidade: “Insuficiente”: menor ou igual a 40%; “Boas Práticas”: maior que 40% e menor ou igual a 70%; “Melhores Práticas”: maior que 70% e menor ou igual a 90%; e “Excelência”: maior que 90%.

Vale ressaltar que para a classificação geral, também deverá ser considerado não apenas o grau de maturidade atingido, mas também o atendimento dos dois primeiros conjuntos de diretrizes com classificação superior à classificação geral. Por exemplo, a classificação geral não poderá ser “Boas Práticas” se a classificação do conjunto de diretrizes 1 for “Insuficiente” mesmo e se o grau de maturidade atingido estiver entre 40% e 70%.

CONCLUSÃO

O artigo aborda a complexidade das diretrizes para a Gestão de Segurança da Informação em projetos de arquitetura que utilizam BIM. A pesquisa revela que os envolvidos precisam se preparar para proteger a informação projetual, destacando a necessidade de uma estratégia de implementação.

O Modelo de Maturidade proposto não resolve todos os aspectos da segurança da informação no uso do BIM, mas oferece um caminho organizado para a adoção desses aspectos, abrangendo etapas de início, planejamento e efetivação da GSI, incluindo controle de qualidade. Ele permite a inclusão de novas diretrizes futuras e a manutenção de fluxos de qualidade contínua.

As diretrizes do modelo abordam a legalidade e permitem ajustes conforme a necessidade e complexidade do projeto, bem como o porte das organizações envolvidas. Ao organizar as diretrizes em conjuntos, o modelo facilita a escolha das diretrizes mais viáveis para adoção inicial, associadas aos riscos que o escritório está disposto a assumir. Embora focado nos aspectos legais brasileiros, o modelo é adaptável a outros cenários e países.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores também agradecem ao CNPQ pelo apoio à pesquisa, e às empresas que disponibilizaram os documentos.

REFERÊNCIAS

[1] ALENCAR, Gliner Dias. Primasia: uma estratégia para priorização e avaliação da maturidade da segurança da informação adaptável ao ambiente corporativo. Federal University of Pernambuco, Post-graduation in Computer Science. Doctoral thesis. Recife. 2018.

[2] WEF, *World Economic Forum. Global Cybersecurity Outlook 2024*. Insight Report. Janeiro 2024.

[3] DA SILVA, Luiz Fernando Costa Pereira. Gestão de riscos em tecnologia da informação como fator crítico de sucesso na gestão da segurança da informação dos órgãos da administração pública federal: estudo de caso da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos-ECT. Revista Ibero-Americana de Ciência da Informação, v. 8, n. 1, p. 87-87, 2015.

[4] DE OLIVEIRA, Paulo Leandro. Segurança da informação nas pequenas empresas. Revista Tecnologia, v. 33, n. 1, p. 7-11, 2012.

[5] UKBIM Alliance. *Information management according to BS EN ISO 19650, Guidance Part 1: Concepts. UKBIM Alliance*. Londres, Reino Unido. 2019.

[6] TURK, Žiga; SONKOR, Muammer Semih; KLINC, Robert. *Cybersecurity assessment of BIM/CDE design environment using cyber assessment framework*. Journal of Civil Engineering and Management, v. 28, n. 5, p. 349–364-349–364, 2022.

[7] MANTHA, Bharadwaj; DE SOTO, Borja Garcia; KARRI, Ramesh. *Cyber security threat modeling in the AEC industry: An example for the commissioning of the built environment. Sustainable Cities and Society*, v. 66, p. 102682, 2021.

[8] PERES, Nilson Tinassi. Uma abordagem de segurança cibernética em sistemas elétricos de potência. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. Monografia. São Carlos. 2019.

[9] BRASIL, LEI Nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília, 2018.

[10] GRANJO, Paulo. O Conceito de Risco: Janus reinventado. Quando o conceito de «risco» se torna perigoso. Análise Social, p. 1167-1179, 2006.

[11] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 31000. Gestão de Riscos - Diretrizes. 2018.

[12] PMI, Project Management Institute. Guia do conhecimento em gerenciamento de projetos. Guia PMBOK. 7.ed. New York. Project Management Institute (PMI), 2022.

[13] BRUNNER, Michael et al. Risk management practices in information security: Exploring the status quo in the DACH region. Computers & Security, v. 92, p. 101776, 2020.

[14] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 19650-1. Organização da informação acerca de trabalhos da construção - Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção - Parte 1: Conceitos e princípios. 2022.

[15] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 19650-2. Organização da informação acerca de trabalhos da construção - Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção - Parte 2: Fase de entrega de ativos. 2022.

[16] ISO – International Standard Organization. BS EN ISO 19650-4*. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including Building Information Modelling (BIM) Information management using Building Information Modelling — Part 4: Information exchange*. ed, 2022.

[17] ISO – International Standard Organization. BS EN ISO 19650 5. *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including Building Information Modelling (BIM) Information management using Building Information Modelling — Part 5: Security-minded approach to information management*. ed, 2020.

[18] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO/IEC 27001. Segurança da informação, segurança cibernética e proteção à privacidade - sistemas de gestão da segurança da informação – requisitos. 2022.

[19] OLIVEIRA, Mírian. Modelos de maturidade de gestão do conhecimento: quantidade ou qualidade? A gestão da informação na era do cloud computing, 2011, Portugal. 2011.

[20] LIMA, L.O.; CATAI, R.E.; SCHEER, S. Análise de modelos de maturidade para medição da implementação do Building Information Modeling (BIM). Gestão & Tecnologia de Projetos. São Carlos, v16, n2, fev. 2021. https://doi.org/10.11606/gtp.v16i2.167253.

[21] SANTOS, Eduardo Ribeiro dos. Implantação da modelagem da informação da construção (BIM) em escritórios de arquitetura sob a ótica da gestão e segurança da informação. Tese de doutorado. FAU/UFRJ/PROARQ. Rio de Janeiro. 2024.

[22] CICRP, Computer Integrated Construction Research Program. BIM Planning Guide for Facility Owners. Version 2.0, June, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA. 2013.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Otimização de processos em projetos rodoviários e ferroviários com tecnologias customizadas no Civil 3D

Process optimization in road and railway projects with customized technologies in Civil 3D

Francisco Weslley Paiva Castelo |SYSTRA| fcastelo@systra.com | 0009-0002-5500-8512
Carlos Eduardo Capanema |SYSTRA| cecapanema@systra.com | 0009-0005-7968-9158
Anderson Santos de Oliveira |SYSTRA| aoliveira4@systra.com | 0009-0004-7653-5260
Marinna Dias Pereira |SYSTRA| mpereira2@systra.com | 0009-0005-7622-4021

DOI: 10.5281/zenodo.14475382

Resumo

Este artigo explora o impacto da automação no Civil 3D no desenvolvimento de projetos de infraestrutura de transportes, com foco em rodovias e ferrovias. A implementação de *plug-in*s sob demanda permite a execução de tarefas complexas com mais rapidez e precisão, resultando em até 98% de redução no tempo necessário para atividades como a criação de alinhamentos e a exportação de superfícies de corredores. Uma inovação essencial é a integração de *Property Sets* diretamente no Civil 3D, o que facilita a quantificação e organização dos dados BIM, permitindo que eles sejam extraídos e sistematizados em planilhas, eliminando a necessidade de relatórios manuais e aumentando a confiabilidade na estimativa de custos e no controle financeiro. Essa funcionalidade também melhora a integração entre diferentes disciplinas de engenharia, reduzindo a necessidade de retrabalho e promovendo a comunicação entre as equipes. Outro destaque do artigo é a interoperabilidade entre o Civil 3D e o Navisworks, que mantém os dados consistentes e atualizados em todas as fases do projeto. Isso permite uma troca de informações eficiente entre disciplinas, garantindo que o modelo BIM permaneça sincronizado para as equipes de engenharia e execução. Em conclusão, o uso de *plug-in*s personalizados no Civil 3D revoluciona o desenvolvimento de projetos de infraestrutura, proporcionando aumentos significativos de produtividade, precisão nos dados e controle sobre cronogramas e custos, o que é essencial para a execução eficiente de grandes projetos de infraestrutura.

Palavras Chaves: BIM. Automação. Infraestrutura de Transporte. *Plugin. Property Sets*.

Abstract

This article explores the impact of automation in Civil 3D on the development of transportation infrastructure projects, specifically focusing on highways and railways. The implementation of on-demand plugins enables complex tasks to be performed with greater speed and precision, resulting in up to a 98% reduction in time required for activities such as alignment creation and corridor surface export. A key innovation is the integration of Property Sets directly within Civil 3D, which facilitates the quantification and organization of BIM data, allowing data to be extracted and systematically arranged in spreadsheets. This eliminates the need for manual reporting and enhances reliability in cost estimation and financial control. This functionality also improves integration

across various engineering disciplines, reducing rework and promoting communication between teams. Another highlight of the article is the interoperability between Civil 3D and Navisworks, which keeps data consistent and up-to-date at all stages of the project. This enables efficient information exchange across disciplines, ensuring that the BIM model remains synchronized for engineering and execution teams. In conclusion, the use of custom plugins in Civil 3D is transforming infrastructure project development, significantly enhancing productivity, data accuracy, and control over schedules and costs, which is essential for the efficient execution of large-scale infrastructure projects.

Keywords: BIM. Automation. Transportation Infrastructure. Plugin. Property Sets.

INTRODUÇÃO

A crescente procura de eficiência e precisão nas operações de infraestruturas de transporte levou ao desenvolvimento de novas soluções para otimizar os processos relevantes. A adoção da colaboração BIM com o Civil 3D e o uso de linguagens de programação especiais mudaram a forma como esses projetos são realizados, permitindo a automatização de projetos manuais e demorados. Implementadas em formato estruturado, essas tecnologias fornecem informações detalhadas sobre como organizar o trabalho dos equipamentos, criar e armazenar dados, acelerar a produção de documentos técnicos e facilitar a integração entre diferentes departamentos de engenharia.

A interoperabilidade e a integração de dados são fatores críticos para o sucesso de grandes projetos, especialmente em ambientes colaborativos. Como aponta no livro *The BIM Handbook* [1], a capacidade do BIM de gerenciar e compartilhar informações ao longo da vida de um projeto é fundamental para a eficiência e a qualidade de projetos complexos. A interação entre os modelos Civil 3D e BIM é alcançada através do uso de APIs e linguagens de programação (ex. VB.NET, C#, VBA, *Visual Programming* (*Dynamo*) que facilitam a troca de dados entre equipes, fornecem atualizações de informações e todos participam. Essa integração perfeita garante consistência e confiabilidade dos dados, reduz a interoperabilidade do software e otimiza o fluxo de trabalho.

Os principais resultados desse processo incluem redução do tempo de resposta, maior precisão dos dados gerados e redução de erros e retrabalho. Esses fatores afetam o desempenho da equipe e a qualidade final do projeto. Este artigo tem como objetivo explorar como a aplicação da tecnologia de padronização Civil 3D pode ser combinada com o BIM para melhorar processos e operações de infraestrutura de transporte, com foco na automação e integração entre disciplinas.

A auditoria inclui o desenvolvimento de *plug-ins* necessários para substituir tarefas manuais repetitivas na automação, a implementação de procedimentos precisos e procedimentos de programação com capacidade de coletar informações detalhadas para gestão e planejamento financeiro. Com isso, pretendemos mostrar como a automação pode impactar a produtividade, a precisão dos dados e a coordenação entre as equipes, reduzindo assim a carga de trabalho e aumentando a eficiência operacional. Os resultados esperados incluem melhor desempenho, redução de erros e um impacto positivo na entrega ponta a ponta e na satisfação do cliente, demonstrando que a colaboração e a entrada de dados são aspectos distintos do gerenciamento moderno de serviços de infraestrutura.

MÉTODO

A metodologia deste trabalho baseia-se na análise de como a automação e o intercâmbio de dados podem otimizar processos em projetos de infraestrutura de transporte. Optou-se por criar as soluções personalizadas em VB.NET, devido à familiaridade da equipe com a linguagem e sua compatibilidade com a API do Civil 3D, e busca-se atender às necessidades de produtividade e precisão em projetos de grande porte. Em empresas de engenharia, onde equipes multidisciplinares colaboram, a extração de

dados como corredores, sólidos e superfícies é uma tarefa recorrente e detalhada. Realizar esses processos manualmente demanda muito tempo e está sujeita a erros. Para superar essas limitações e cumprir prazos exigentes, foram desenvolvidos plug-ins específicos que permitem a extração automatizada desses elementos diretamente no Civil 3D, agilizando as etapas de documentação e assegurando maior consistência nos dados.

Conforme observado por Eastman *et al.* no estudo apresentado em *The BIM Handbook* [1], as ligações diretas e proprietárias entre ferramentas BIM, quando implementadas com linguagens como VB.NET, garantem uma conexão integrada essencial para agilizar o intercâmbio de dados e automatizar tarefas repetitivas. Essa abordagem adapta o Civil 3D às demandas de projetos rodoviários e ferroviários, criando um fluxo de trabalho contínuo e eficiente entre as etapas, facilitando a integração entre diferentes disciplinas e aumentando a confiabilidade e a eficiência do processo.

Os *plugins* são desenvolvidos especificamente para o uso interno da equipe da SYSTRA, garantindo que as soluções sejam adaptadas às necessidades dos projetos de infraestrutura da empresa e preservem a segurança dos dados. Isso permite uma adaptação direta às demandas dos projetos da SYSTRA, com alto nível de personalização.

1. Ferramentas e Ambiente de Desenvolvimento
    - Configurações de Equipamento e Parâmetros de Processamento: Os testes foram realizados em um Laptop DELL com as seguintes especificações:
        - Processador: Intel Core i7-13800H de 13ª geração, 2,50 GHz
        - Memória RAM: 32 GB
        - Placa de Exibição: Intel Iris Xe Graphics
        - Placa de Renderização: NVIDIA RTX A1000 com 6 GB
        - Armazenamento: SSD NVMe de 512 GB
    - Linguagem e IDE: Optou-se pelo VB.NET em Visual Studio 2022 para o desenvolvimento, garantindo comunicação direta com a API do Civil 3D, o que permitiu manipular objetos, acessar e modificar *Property Sets*, e otimizar processos.
    - Dados de Teste: Os testes foram conduzidos em projetos reais de infraestrutura, utilizando a versão 2023 do Civil 3D. Esse ambiente garantiu a compatibilidade dos *plug-in*s com o sistema em uso nas equipes.
2. Desenvolvimento de Plugins
    - Recebimento da Demanda na SYSTRA: Identificação da Necessidade -> as demandas chegam à equipe, geralmente através de requisitos específicos identificados pelos engenheiros e coordenadores de projeto, que percebem tarefas repetitivas ou áreas de possível automação.
    - Formalização do Pedido: O coordenador e/ou responsável pela demanda, solicita a Equipe BIM o desenvolvimento de uma solução para ajudar e melhorar o desempenho da produção da equipe. Após isso, é feita uma identificação da real necessidade e se já não há nada pronto a respeito da solicitação. Se não há nada pronto, é feita uma análise das funcionalidades desejadas, dos resultados esperados e da definição dos prazos, o que ajuda a equipe de desenvolvimento a priorizar as solicitações de demandas.
    - Análise de Requisitos: A criação dos *plug-in*s foi baseada em necessidades identificadas diretamente pelas equipes, visando áreas específicas como quantificação, extração de sólidos, aplicação de *Property Sets*, e visualização de padrões de corte e aterro.
    - Implementação Gradual e Feedback: A cada novo *plug-in*, o feedback das equipes usuárias foi incorporado em ciclos de revisão. Os *plug-in*s foram aprimorados e ajustados conforme surgiam novos requisitos e desafios práticos, especialmente em cenários colaborativos onde dados precisos e padronizados eram fundamentais.
3. Medição e Validação de Resultados
    - Teste de Desempenho e Comparação com Métodos Manuais: Cada *plug-in* foi comparado com seu equivalente manual em termos de tempo de execução. Esses testes foram realizados em múltiplos

arquivos de diferentes tamanhos e complexidades, medindo a eficácia em termos de economia de tempo e precisão dos dados.

- Sistema de Log: Para o *plug-in* de quantidades, foi implementado um sistema de log que registra o tempo de processamento, versão do Civil 3D, usuário e outras informações críticas. Esse sistema armazena dados para análise de desempenho e permite ajustes na execução dos *plug-in*s conforme o feedback dos usuários.

4. Automação de Processos e Validação pelos Usuários
   - Execução em Ambiente Real: A automação foi implementada em projetos reais, e os usuários participaram dos testes usando arquivos de trabalho, simulando um ambiente de produção. As tarefas foram cronometricamente medidas tanto nos processos manuais quanto com os *plug-in*s, para garantir uma avaliação realista da eficiência.
   - Feedback Iterativo: Usuários dos *plug-in*s, como projetistas e engenheiros, relataram sua experiência com as ferramentas e apontaram melhorias. Quando problemas ou erros eram identificados, o arquivo específico era revisado e testado para ajustes e aprimoramentos nos *plug-in*s.
5. Comparação Quantitativa e Validação dos Resultados
   - Quantificação e Precisão: Testes foram feitos para validar a precisão dos *plug-in*s em relação aos dados extraídos, especialmente nas áreas de quantificação e extração de sólidos. A validação foi realizada por meio de testes comparativos no Navisworks e diretamente no Civil 3D.

RESULTADOS

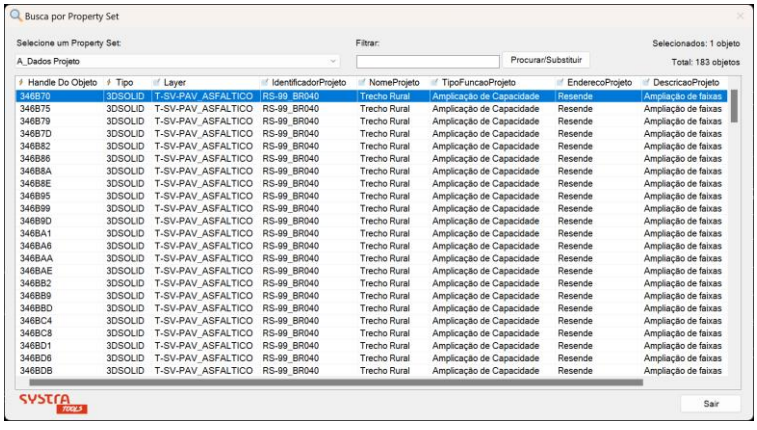
Nesta seção, detalhamos os ganhos obtidos com a implementação dos *plug-in*s, incluindo a redução de tempo, a precisão e a contribuição para o fluxo de trabalho colaborativo entre as equipes. Os resultados são organizados por categorias de *plug-in*s para melhor visualização dos benefícios específicos.

O *plug-in* de quantidades foi ajustado para processar até 8 arquivos simultaneamente, capacidade que varia conforme os recursos do sistema, como CPU e RAM. A partir da versão 2023 do Civil 3D, o sistema permite escolher a versão do Civil 3D a ser utilizada, garantindo flexibilidade de processamento com versões atualizadas.

AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS E REDUÇÃO DE TEMPO

Busca *Property Sets*: Este *plug-in* tem o propósito de mostrar, editar e exportar os *Property Sets* dos objetos de um arquivo dwg. Ele faz a leitura dos objetos e mostra em uma janela para o usuário pode preencher/editar as informações dos *Property Sets*.

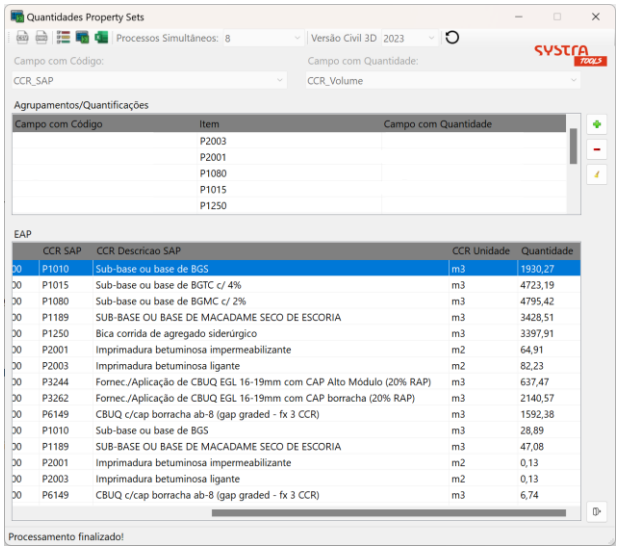
Figura 1: - Busca *Property Sets*



Fonte: Autor (2024).

Quantidades *Property Sets*: A implementação deste *plug-in* gerou uma economia significativa de tempo, eliminando a necessidade de quantificação manual em softwares externos, como Navisworks. O *plug-in* executa a leitura dos *Property Sets*, gerando uma planilha detalhada no Excel com os itens e quantidades de cada arquivo.

Figura 2: - Quantidades *Property Sets*



Fonte: Autor (2024).

Extract *Multiple Corridor Solids*: Este *plug-in* reduziu o tempo de extração de sólidos em 98%. Em testes utilizando o processo manual, a extração de sólidos leva, em média, 27 segundos por corredor. Em um arquivo com 1.046 corredores, o *plug-in* automatizado é capaz de processar o lote completo em um tempo significativamente menor. Sem a automação, processar 1.046 corredores manualmente levaria aproximadamente 7 horas, 50 minutos e 42 segundos.

Figura 3: - Extract Multiple Corridor Solids - Resultado

```
--------------------------------------------------------------------------------------------
--------                SYSTRATools - Extract Multiple Corridor Solids                --------
--------------------------------------------------------------------------------------------

Estatísticas:

Arquivos:.......... 1
Corredores:........ 1046
Superfícies:....... 0
Total de Sólidos:... 2444
Tempo total da extração dos sólidos: 7m 59s 892ms
Tempo total de Processamento (desde a seleção dos arquivos): 8m 6s 1ms

*** OBS. ***
Caso algum elemento não tenha sido exportado, verifique no arquivo original, se ele é válido.
--------------------------------------------------------------------------------------------
```

Fonte: Autor (2024).

MÉTRICA DE VALIDAÇÃO

Sistema de Log: O *plug-in* Quantidades *Property Sets* inclui um sistema de log que armazena dados detalhados, como o tempo de processamento, tamanho dos arquivos, e versão do Civil 3D. Esses dados são valiosos para identificar oportunidades de otimização e medir o desempenho do *plug-in*. Abaixo,

algumas amostras de dados do sistema de log. Os testes compararam o tempo de processamento em dois cenários distintos: (os arquivos foram carregados a partir da rede da SYSTRA).

Cenário 1:

- Ambiente: Civil 3D 2023.3.3 Update:
- Processamento de 24 Arquivos com um tamanho total de 2.444,58 MB
- Tempo Total de Processamento: 7 minutos e 59 segundos

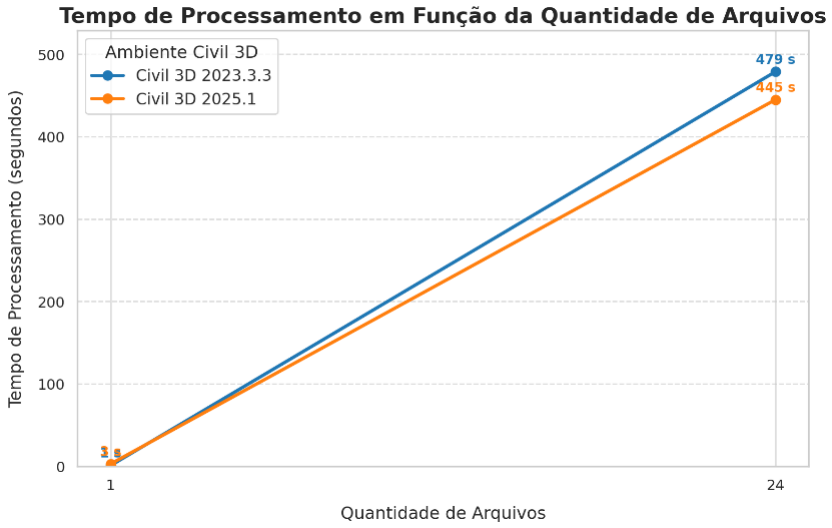
Cenário 2:

- Ambiente: Civil 3D 2025.1 Update:
- Processamento de 24 Arquivos com um tamanho total de 2.444,58 MB
- Tempo Total de Processamento: 7 minutos e 25 segundos

Análise e Validação de Ganhos

Comparando os dois ambientes, o teste com a versão 2025 do Civil 3D resultou em uma melhoria de 7% na eficiência total de processamento dos 24 arquivos, reduzindo o tempo de 7 minutos e 59 segundos para 7 minutos e 25 segundos. Esse ganho, embora não expressivo em cada arquivo individual, se acumula em processos de grande volume, como projetos de infraestrutura com muitos arquivos.

Gráfico 1: Tempo de Processamento dos arquivos



Fonte: Autor (2024).

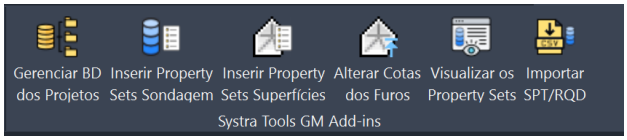
Além disso, a possibilidade de ajustar a quantidade de arquivos processados simultaneamente, conforme a capacidade do equipamento, oferece maior flexibilidade para escalar a aplicação em diferentes ambientes de hardware. Para máquinas com maior poder de processamento, espera-se um aumento ainda maior no número de arquivos simultâneos, maximizando o potencial de automação e economizando tempo de projeto.

A implementação do sistema de log, que monitora o tempo de processamento, versão do Civil 3D, e o total de arquivos processados, permitiu uma análise detalhada do desempenho. Este sistema também possibilita a otimização contínua, permitindo ajustes baseados nos resultados dos logs.

AUXÍLIO À ANÁLISE GEOTÉCNICA E MODELAGEM DE PAVIMENTOS

Property Sets Sondagem: Este *plug-in* permitiu a integração automatizada de dados geotécnicos diretamente a partir do *plug-in Geotechnical Modeler*. A adição de *Property Sets*, como valores de NSPT e profundidade, facilitou a análise de sondagem.

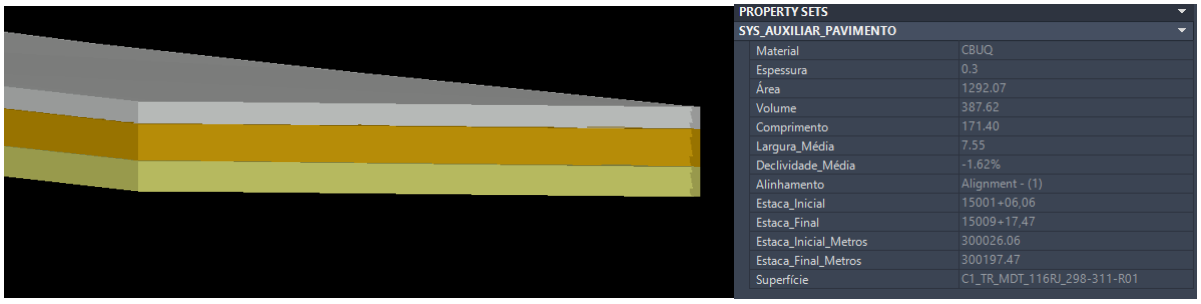
Figura 4: - Menu do *Property Sets* Sondagem



Fonte: Autor (2024).

Cria Camadas de Pavimento: Foi desenvolvido modelar as camadas de pavimento e incluir um Property Set invisível, contendo informações detalhadas sobre as camadas de pavimento (nome, espessura, largura e estaca inicial e final). Esses dados são acessíveis para consulta futura ou inclusão em novos *Property Sets*.

Figura 5: - Camadas de Pavimento e *Property Sets*



Fonte: Autor (2024).

FACILIDADE NA MODELAGEM E VISUALIZAÇÃO

Slope Patterns e Mancha Terraplenagem: Ambos os *plug-in*s melhoraram a visualização de projetos, permitindo que a equipe identificasse padrões de declive e áreas de corte e aterro diretamente no Civil 3D. A criação automática dessas visualizações antes era manual e bastante demorada, especialmente em projetos de grande escala.

IMPACTO NO FLUXO DE TRABALHO E NA COLABORAÇÃO

A automação permitiu que várias equipes colaborassem de forma mais eficiente, integrando dados diretamente no Civil 3D e eliminando etapas redundantes. Além disso, a disponibilidade de dados quantificados e de sólidos extraídos em um formato padronizado facilitou a verificação de qualidade entre equipes de diferentes áreas.

A colaboração é feita através de uma plataforma interna onde os usuários podem informar problemas nos *plug-in*s, solicitar novos *plug-in*s e avaliar cada um deles com uma nota. A utilização de cada *plug-in* é registrada em um banco de dados para uma posterior avaliação da sua usabilidade. Isso ajuda a determinar a relevância do tempo investido no desenvolvimento de cada *plug-in*.

CONTRIBUIÇÃO PARA O SUCESSO DOS PROJETOS

A automação no Civil 3D, integrada ao BIM e personalizada para a SYSTRA, está transformando a abordagem de desenvolvimento de projetos de infraestrutura, promovendo uma execução mais rápida, eficiente e precisa.

VISÃO PARA O FUTURO

Está sendo estudada a possibilidade de expandir o uso dos *plug-in*s desenvolvidos internamente, assim como a plataforma de compartilhamento da comunidade, para toda a SYSTRA. Essa iniciativa visa incentivar a inovação contínua e adaptar as ferramentas para atender novas necessidades e avanços tecnológicos. Além disso, está sendo analisada a conversão de todos os *plug-in*s para a versão 2025, o que deve aumentar significativamente a produtividade das equipes ao aproveitar os novos recursos do Civil 3D 2025.

CONCLUSÃO

Os *plugins* que foram desenvolvidos para o Civil 3D proporcionam uma automação robusta e eficiente para tarefas que antes eram cansativas e suscetíveis a erros humanos. A implementação das rotinas baseada em VB.NET trouxe, além de uma redução significativa no tempo de execução (cerca de 98% em casos e arquivos específicos), maior precisão e confiabilidade nos dados extraídos e processados.

A integração com o Civil 3D através da API permite acesso e modificação de objetos, simplificando a criação de propriedades específicas para análises. Os *plug-in*s influenciaram positivamente o fluxo de trabalho colaborativo, permitindo que equipes de diferentes áreas trabalhem com dados mais precisos e padronizados. O sistema de log desenvolvido para monitorar o desempenho foi essencial para identificar pontos de melhoria.

O desenvolvimento de *plug-in*s contribui para a eficiência das equipes e serve como base para a produção de novas soluções de automação para o Civil 3D. A evolução dos *plug-in*s, com base no feedback das equipes, reforça o impacto da automação no setor de infraestrutura e abre caminho para integrações futuras com outros softwares, ampliando a capacidade de análise e visualização de projetos complexos.

REFERÊNCIAS

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. Manual BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para engenheiros, arquitetos, gerentes e construtores. São Paulo: Bookman, 2014. - OK

AUTODESK. *Setting up a .NET Project for Autodesk Civil 3D*. Disponível em: https://help.autodesk.com/cloudhelp/2022/ENU/Civil3D-DevGuide/files/GUID-DE3A46DA-508E-43A0-8538-C77D978D06B2.htm. Acesso em: 10 out. 2024.

AUTODESK. *Setting up a .NET Project for Autodesk Civil 3D*. Disponível em: https://help.autodesk.com/view/CIV3D/2022/ENU/?guid=GUID-DE3A46DA-508E-43A0-8538-C77D978D06B2. Acesso em: 15 out. 2024.

AUTODESK. *Create Your First AutoCAD Plug-In*. Disponível em: https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Create-Your-First-AutoCAD-Plug-2020. Acesso em: 18 out. 2024.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Padronização e inovação com a tecnologia BIM em projetos de iluminação no Brasil

Standardization and innovation with BIM technology in lighting projects in Brazil

Juliana Iwashita Kawasaki | Exper Soluções Luminotécnicas| juliana@expersolution.com.br | 0000-0003-0293-8804

Aline Carvalho Pontes | Exper Soluções Luminotécnicas | aline@expersolution.com.br | 0000-0001-5239-4935

Leonardo Alves Teixeira | Exper Soluções Luminotécnicas| leonardo@expersolution.com.br

Fernanda Carlos da Rocha | Exper Soluções Luminotécnicas| fernanda@expersolution.com.br | 0009-0000-3079-7047

Gabriel Ferreira Soares | Exper Soluções Luminotécnicas| gabriel@expersolution.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14475521

Resumo

Embora o uso do BIM (Modelagem da Informação da Construção) no Brasil esteja em expansão, sendo amplamente reconhecido como uma tecnologia essencial para o desenvolvimento e a execução de projetos arquitetônicos e de engenharia, sua aplicação em projetos de iluminação ainda enfrenta desafios, como a necessidade de investimentos iniciais elevados e a resistência a mudanças entre profissionais não familiarizados com a tecnologia que impacta na carência de bibliotecas e dificuldade na gestão de informações destas. Este estudo investigou o estado atual do mercado profissional de iluminação, sobretudo os fornecedores brasileiros que disponibilizam bibliotecas BIM de luminárias, utilizando uma abordagem metodológica que incluiu um levantamento bibliográfico e pesquisa de mercado com análise das bibliotecas de luminárias disponibilizadas no Brasil. O levantamento bibliográfico proporcionou uma visão aprofundada das práticas atuais e das normas técnicas existentes. Essa etapa foi importante para compreender o atual estado da arte e identificar as possíveis falhas nessa padronização. A falta de uniformidade na oferta de bibliotecas foi um dos pontos destacados, evidenciando a necessidade de uma normatização mais rigorosa para garantir a consistência e a qualidade dos projetos de iluminação no Brasil. A pesquisa de mercado complementou o levantamento com uma análise minuciosa das bibliotecas BIM atualmente disponíveis pelos principais fornecedores, além de entrevistas com profissionais do setor. Essa abordagem permitiu colher informações diretas sobre as práticas vigentes, os desafios enfrentados e as principais deficiências na implementação de bibliotecas BIM no contexto luminotécnico. Os resultados revelaram que as bibliotecas BIM de luminotécnica oferecidas pelos fornecedores brasileiros não estão alinhadas com as normas técnicas e as melhores práticas internacionais, demonstrando uma lacuna significativa no processo de padronização de parâmetros, que pode impactar a qualidade e a eficiência dos projetos. Nesse sentido, o principal objetivo desta pesquisa é contribuir para a criação de uma biblioteca de luminotécnica padronizada, que esteja em conformidade com as normas técnicas internacionais. Essa iniciativa visa promover maior eficiência e sistematização no setor, facilitando a gestão de informações, a integração quanto a utilização dos recursos disponíveis e permitindo uma comunicação mais eficaz entre as partes envolvidas. Além disso, o estudo fornece uma base sólida para futuras iniciativas de aprimoramento e padronização, beneficiando não apenas os fornecedores, mas também os profissionais da área de iluminação. Com uma biblioteca padronizada, espera-se alcançar melhorias substanciais na qualidade dos projetos de

iluminação, assegurando maior consistência nos resultados e facilitando a comunicação entre todos os envolvidos. Dessa forma, a pesquisa não se limita apenas a preencher uma lacuna existente, mas também a estabelecer um ponto de partida para a evolução contínua das práticas de BIM no setor luminotécnico, promovendo avanços significativos que beneficiarão toda a indústria e os projetistas. A pesquisa contribui para a evolução das práticas e para o aprimoramento dos processos dentro da indústria de iluminação, alinhando-se com as necessidades e expectativas do mercado em constante transformação e evolução tecnológica.

Palavras-chave: BIM. Iluminação. Luminotécnica. Biblioteca luminotécnica. Integração BIM.

Abstract

Although the use of BIM (Building Information Modeling) in Brazil is expanding, being widely recognized as an essential technology for the development and execution of architectural and engineering projects, its application in lighting design still faces challenges such as the need for high initial investments and resistance to change among professionals unfamiliar with the technology, which impacts the shortage of libraries and difficulty in managing their information. This study investigated the current state of the professional lighting market, especially the Brazilian suppliers that provide BIM lighting libraries, using a methodological approach that included a bibliographic review and market research with an analysis of the lighting libraries available in Brazil. The bibliographic review provided an in-depth view of current practices and existing technical standards. This step was important for understanding the current state of the art and identifying possible shortcomings in this standardization. The lack of uniformity in the offering of libraries was one of the highlighted points, evidencing the need for more rigorous standardization to ensure consistency and quality in lighting design projects in Brazil. The market research complemented the review with a detailed analysis of the BIM libraries currently available from the main suppliers, in addition to interviews with professionals in the sector. This approach allowed for the collection of direct information on current practices, the challenges faced, and the main deficiencies in the implementation of BIM libraries in the lighting context. The results revealed that the BIM lighting libraries offered by Brazilian suppliers are not aligned with technical standards and international best practices, demonstrating a significant gap in the standardization process of parameters, which can impact the quality and efficiency of projects. In this sense, the main objective of this research is to contribute to the creation of a standardized lighting library, in compliance with international technical standards. This initiative aims to promote greater efficiency and systematization in the sector, facilitating information management, integration regarding the use of available resources, and enabling more effective communication between stakeholders. In addition, the study provides a solid foundation for future standardization and improvement initiatives, benefiting not only suppliers but also professionals in the lighting field. With a standardized library, substantial improvements in the quality of lighting projects are expected, ensuring greater consistency in results and facilitating communication among all parties involved. Thus, the research not only seeks to fill an existing gap but also to establish a starting point for the continuous evolution of BIM practices in the lighting sector, promoting significant advances that will benefit the entire industry and designers. The research contributes to the evolution of practices and the improvement of processes within the lighting industry, aligning with the needs and expectations of a market in constant transformation and technological evolution.

Keywords: BIM, Lighting, Lighting Design, Lighting Library, BIM Integration

INTRODUÇÃO

O conceito conhecido em inglês como *Building Information Modeling* (BIM), ou Modelagem da Informação da Construção, consiste em uma ferramenta digital que integra diversos tipos de conhecimentos para a modelagem e gestão do ciclo de vida de um projeto, abrangendo desde a sua criação até o momento da construção. No contexto da iluminação, o BIM segue o mesmo princípio, esta metodologia contribui para a transformação do setor ao oferecer uma abordagem integrada [1]. No entanto, apesar do avanço no uso dos softwares BIM, a falta de padronização nos processos e nas informações, especialmente — a ausência de bibliotecas padronizadas — compromete a eficiência e a qualidade desses projetos [2].

Uma pesquisa realizada pela Abilux (Associação Brasileira da Indústria de Iluminação) em 2019 revelou que muitos profissionais da área evitam adotar o BIM devido à falta de objetos adequados para

especificação. Essa lacuna representa uma oportunidade para a indústria da iluminação expandir sua atuação no BIM, em especial, ao oferecer bibliotecas compatíveis com essa tecnologia [1].

Embora em 2021 a Abilux tenha realizado iniciativas para capacitação e padronização de bibliotecas BIM de luminárias entre seus associados, é importante salientar que, até o momento, essas bibliotecas têm sido desenvolvidas em sua maioria de forma individualizada, com parâmetros definidos e programados pelos próprios fornecedores, sem informações compartilhadas. Diante deste contexto, este estudo propõe investigar as possíveis lacunas enfrentadas atualmente no mercado de iluminação nacional, principalmente no que diz respeito à criação de bibliotecas BIM padronizadas.

METODOLOGIA

Por intermédio de uma metodologia de caráter exploratório [3], este trabalho foi estruturado em três etapas principais: revisão de literatura, aplicação de pesquisa com fornecedores e levantamento de mercado. A primeira etapa, centrada na revisão de literatura, proporcionou uma análise das normas técnicas vigentes, tanto em âmbito nacional quanto internacional de modo a oferecer uma visão consolidada sobre o estado da arte na aplicação de bibliotecas BIM em iluminação. Na segunda etapa foi elaborada uma pesquisa direcionada a fornecedores de equipamentos de iluminação, por meio da aplicação de questionário com o objetivo de coletar dados relevantes sobre a percepção e a utilização do BIM no mercado de iluminação nacional. A pesquisa teve apoio de divulgação da Abilux e da Abilumi (Associação Brasileira de Fabricantes e Importadores de Produtos de Iluminação). A terceira etapa consistiu na análise das bibliotecas BIM disponíveis em sites e plataformas digitais de fornecedores brasileiros, a fim de investigar a forma que os parâmetros são utilizados pelos fornecedores. Com base na coleta e sistematização desses dados, os resultados serão apresentados em tabelas e gráficos, e analisados com a finalidade de identificar os desafios e as práticas relacionadas à adoção de bibliotecas BIM no cenário luminotécnico brasileiro.

RESULTADOS

REVISÃO DA LITERATURA

Embora existam diversos guias e manuais sobre os conceitos e os processos de implementação da tecnologia BIM em projetos como as coletâneas de guias da ABDI-MDIC [4], da ASBEA [5] e do BIM Fórum Brasil [6] há uma quantidade limitada de documentos voltados para a área de iluminação. Entre os estudos, destacam-se o documento da Abilux, que apresenta diretrizes para a produção de bibliotecas BIM no contexto luminotécnico. O documento aborda o cenário no Brasil e a evolução do BIM no setor, citando a pesquisa aplicada em 2020 para avaliar a adoção da metodologia BIM no âmbito da iluminação brasileira.

No que diz respeito à norma ABNT NBR 15965, lançada em 2021, e fundamentada na ISO 12006-2:2015, ela é organizada em treze tabelas adaptadas do sistema OmniClass utilizado nos Estados Unidos e Canadá. [7] Em relação ao setor internacional, o memorando técnico ANSI/IES TM-32-24, busca padronizar os parâmetros para o uso de objetos e bibliotecas de luminárias BIM. Ele organiza informações como nome, descrição e GUID (*Globally Unique Identifier*), sem impor valores específicos. O GUID é um identificador composto por um número de 128 bits que se destaca neste documento por possibilitar a identificação única de cada parâmetro no projeto, o que facilita no rastreamento e controle das informações BIM, ao associar todos os parâmetros de natureza similar, embora apresentados em famílias diferentes. Já a norma europeia EN ISO 23386 [8], assim como a ANSI/IES

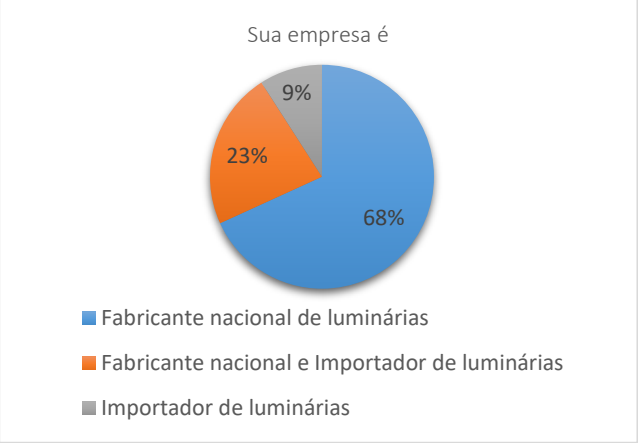
TM-32-24, esclarece os parâmetros necessários para elementos de construção BIM, referindo-se também ao GUID, além de mencionar sobre a norma EN ISO 12006-3, que permite o uso de uma versão comprimida do identificador GUID para otimizar a manipulação dos dados. É importante destacar que a Dial e a Relux estão desenvolvendo em conjunto o GLDF (*Global Lighting Data Format*), em busca de criar um formato de dados que padronize e facilite a troca de informações entre seus softwares e as diferentes plataformas BIM [9]. Entretanto, esse formato ainda está na sua versão beta, implementada em 2021.

APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO COM FORNECEDORES DE ILUMINAÇÃO

Visando identificar o estado atual do uso de objetos BIM na área de iluminação, foi elaborada uma pesquisa para fornecedores (fabricantes e importadores) de equipamentos de iluminação. A pesquisa teve a participação de 22 empresas do setor no período de 15 a 24 de outubro de 2024, sendo 68% fabricantes nacionais de luminárias, 23% empresas que fabricam e importam produtos e 9% importadores de luminárias, conforme Tabela 1.

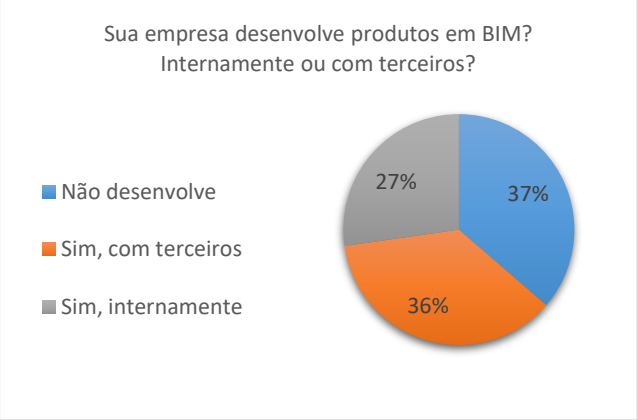
Destas 22 empresas, 37% não desenvolve nenhum tipo de biblioteca BIM, 36% desenvolvem com empresas terceirizadas e 27% desenvolvem suas bibliotecas internamente na empresa.

Figura 1: Perfil das empresas de iluminação participantes



Fonte: Autor, 2024.

Figura 2: Desenvolvimento de Objetos BIM pelas empresas

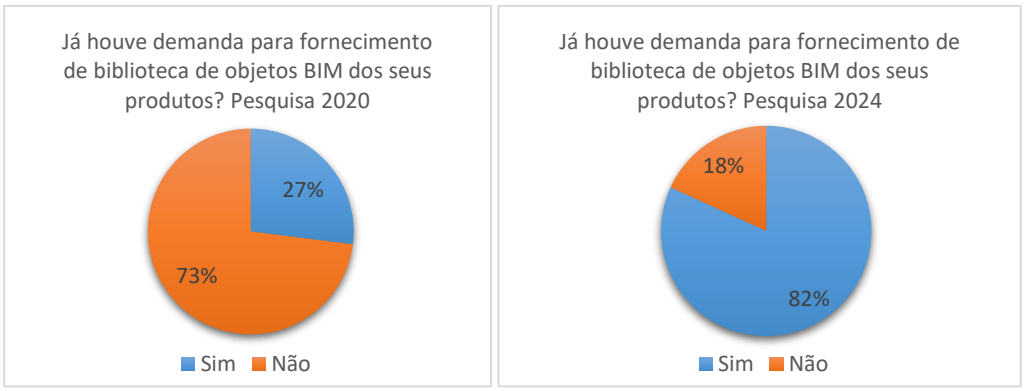


Fonte: Autor, 2024.

A pesquisa buscou fazer uma comparação com alguns dados da pesquisa realizada pela Abilux em 2020, implementando as mesmas perguntas para avaliar eventuais mudanças. Esse paralelo foi realizado com o objetivo de identificar alterações no setor.

Em 2020, 73% dos entrevistados alegaram não receber demanda para fornecimento de biblioteca de objetos BIM, na pesquisa atual, 82% dos participantes responderam já terem sido demandados para fornecer bibliotecas em BIM. Esse resultado evidencia uma mudança expressiva no interesse pelo uso de bibliotecas BIM ao longo dos últimos quatro anos no campo da iluminação, o que indica a adoção crescente das plataformas BIM em projetos pelo mercado.

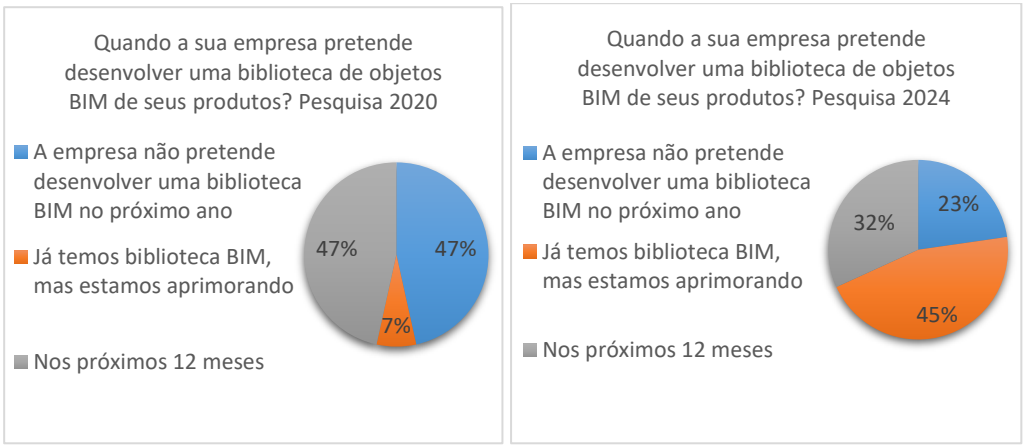
Figura 3:Comparação das pesquisas Abilux em 2020, e os resultados da pesquisa em 2024.



Fonte: Autor, 2024.

No que se refere sobre se a empresa pretender desenvolver uma biblioteca de objetos BIM, em 2020, a pesquisa da Abilux (Figura 3) evidenciou que apenas 7% possuíam biblioteca BIM, 47% das empresas não planejavam desenvolver naquele ano, e outros 47% tinham a intenção de realizá-lo nos próximos 12 meses. Já na pesquisa atual, ao repetir a mesma pergunta, 45% dos entrevistados afirmaram já possuir bibliotecas BIM, 32% pretendem desenvolver nos próximos 12 meses e apenas 23% não pretendem desenvolver. O que demonstra outra crescente significativa no setor da iluminação.

Figura 4: Comparação das pesquisas Abilux em 2020, e os resultados da pesquisa em 2024.

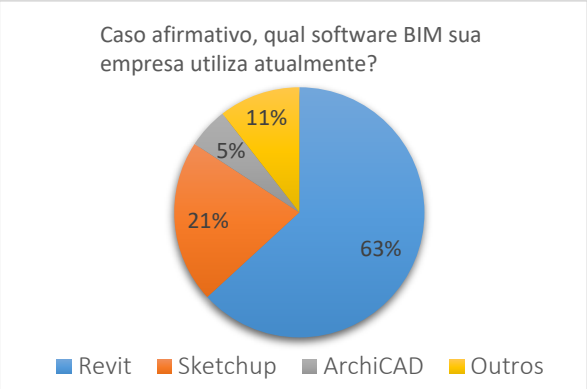


Fonte: Autor, 2024.

Os dados obtidos por esta pesquisa revelam um cenário em transformação positiva no setor de iluminação quanto à adoção de bibliotecas de objetos BIM.

Entre os fornecedores de iluminação foi evidenciado que entre aqueles que fornecem biblioteca BIM, 63% possuem objetos para o software Revit, 21% para o SketchUp, 5% para Archicad e 11% para outros (Figura 4). Embora a maioria utilize o software da Autodesk, ressalta-se aqui a importância de se ter bibliotecas BIM com parâmetros padronizados de forma que os arquivos IFC possam ser criados e compartilhados com as informações técnicas relevantes com outros softwares BIM.

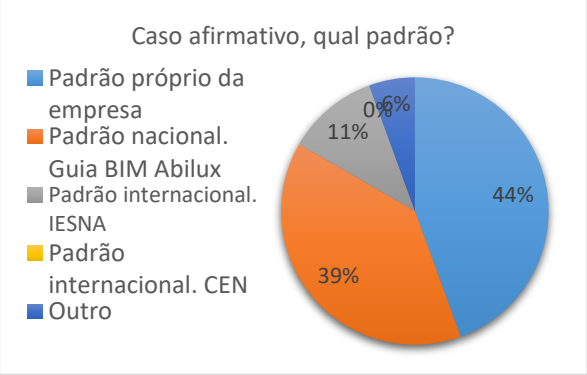
Figura 5: Softwares BIM mais utilizados pelos fornecedores de iluminação



Fonte: Autor, 2024

Um problema evidenciado na pesquisa foi a falta de padronização adotadas para criação de Objetos BIM pelos fornecedores. A Figura 5 mostra que 44% das empresas entrevistadas adotam padrões próprios, 39% adotam as recomendações do padrão nacional guia BIM da Abilux, e apenas 11% adotam o padrão internacional da IESNA. Dessa forma, o não seguimento de padrões uniformes com o GUID comum geram problemas de incompatibilidade entre bibliotecas em projetos de iluminação, provocando problemas na gestão das informações.

Figura 6: Padrão utilizado para criação da Biblioteca BIM



Fonte: Autor, 2024.

LEVANTAMENTO DE MERCADO

Visando comparar os objetos BIM fornecidos por diferentes fornecedores quanto às informações técnicas nota-se claramente uma falta de uniformização entre todas as bibliotecas analisadas. A Tabela 1 mostra a quantidade de parâmetros de 5 fornecedores estudados e a referência recomendada nas diretrizes para produção de bibliotecas BIM da Abilux, comparando-se com os parâmetros compartilhados definidos pela ANSI/IES TM32-24. Esta norma elenca 27 parâmetros mínimos

considerados obrigatórios e 105 parâmetros opcionais com seus respectivos GUIDs para padronização no software Revit.

Tabela 01: Comparação quantitativa de parâmetros em relação a norma ANSI/IES TM-32-24

Referência / Fornecedor	Quant. de parâmetros obrigatórios utilizados	Quant. de parâmetros opcionais utilizados	Quant. de parâmetros adicionais à ANSI IES TM-32-24	Quant. total de parâmetros	% de parâmetros obrigatório utilizados	% de parâmetros opcionais utilizados
ANSI IES TM-32-24	27	105	0	132	100%	100%
Guia Abilux	15	5	17	37	56%	5%
Fornecedor 1	13	5	19	37	48%	5%
Fornecedor 2	6	7	13	26	22%	7%
Fornecedor 3	8	0	2	10	30%	0%
Fornecedor 4	12	4	18	34	44%	4%
Fornecedor 5	14	5	17	36	52%	5%

Fonte: Autor, 2024.

A tabela 01 revela uma variação significativa das informações apresentadas pelos fabricantes, estando quantitativamente muito aquém do recomendado pela norma da ANSI/IES TM32-24. Ressalta-se, entretanto, nas bibliotecas nacionais e recomendação do Guia da Abilux, a existência de parâmetros adicionais sem GUIDs definidos pela norma americana, tais como os parâmetros: Comentários, País de fabricação , Código tabela 2C, Código tabela 3E, Altura de montagem, Fluxo luminoso, Eficácia luminosa, Relação Escotópico Fotópico, Índice R9, Índice Rf, Índice Rg, Índice Rfh, Desvio de cromaticidade Rcsh, Distorção harmônica, Classe elétrica para isolamento, Garantia, Proteção IP, Índice IK, UGR, Facho, Intensidade luminosa e Fluxo luminoso da fonte.

Desta forma, ainda existiria uma lacuna para o projetista de iluminação caso fossem seguidas à risca as diretrizes de parâmetros recomendados pela Abilux e a TM32-24.

Entendendo que novos GUIDs poderão ser criados pela norma americana para os parâmetros não definidos em futuras revisões normativas, tal problema poderia ser mitigado.

CONCLUSÃO

O uso do BIM vem ganhando força nos últimos anos sendo uma ferramenta indispensável desde a concepção do projeto e todo seu ciclo de vida, possibilitando maior precisão, otimização do tempo e mitigação dos erros. Segundo esta pesquisa realizada no campo da iluminação, a procura por bibliotecas de Objetos BIM tem aumentado pelos profissionais de projeto de iluminação e mais fornecedores começaram a disponibilizar bibliotecas. Apesar disso, o BIM no Brasil ainda enfrenta desafios, principalmente devido à falta de conhecimento técnico, custos elevados de implementação e falta de padrões e normas estabelecidas.

Até o momento, as bibliotecas de objetos BIM de luminárias têm sido desenvolvidas principalmente por fabricantes nacionais, porém na maioria das vezes com padrões próprios de cada empresa., inviabilizando uma análise de forma comparativa e sistematizada, uma vez que os softwares BIM não reconhecem os dados como sendo referentes ao mesmo parâmetro.

É plausível destacar que, existem entidades no âmbito internacional trabalhando em buscar solucionar essa lacuna. Um exemplo é a norma americana ANSI/IES TM-32-24, que destaca a relevância de um identificador global único para os parâmetros das luminárias, conhecido como GUID e a norma europeia CEN/TS 17623:2021, que traz os identificadores Global ID para parâmetros BIM de luminárias e sensores. [10]. Desenvolvedores de softwares de iluminação como Dialux e Relux estão se juntando para criar formatos padrões, e devem utilizar ao longo do tempo identificadores GLDF (Global Lighting Data Format) seguindo padrões normativos europeus.

Dessa forma, o uso de Identificadores Globais Únicos se apresenta como um caminho promissor para enfrentar os desafios atuais na aplicação do BIM, mas é necessária uma atualização constante desses GUIDs de forma a incorporar novos parâmetros caso se estabeleçam necessários para a comunidade de iluminação brasileira.

Fica evidente a necessidade de uma normatização brasileira para garantir uma aplicação mais rigorosa e precisa, alinhada às normas internacionais, contudo discutindo e/ou incorporando requisitos nacionais como os definidos pela ABNT, por exemplo os códigos das Tabelas 2C e 3E e outros recomendados pela Abilux.

Espera-se que esta pesquisa contribua para futuros estudos e avanços nessa temática, incentivando a adoção de soluções padronizadas entre fornecedores, de forma a aumentar a confiabilidade e precisão das informações compartilhadas em projetos de iluminação.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO. BIM na Indústria de Iluminação: diretrizes para produção de bibliotecas BIM. São Paulo, 2021.

[2] ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY. ANSI/IES TM-32-24: Technical Memorandum: Lighting Parameters for Building Information Modeling. Nova York, 2024.

[3] GIL, A. C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 6. Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2017.

[4] AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDÚSTRIAL. Processo de Projeto BIM: Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC. 1. Ed. São Paulo: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2017. 82p.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA. Guia AsBEA: Boas práticas em BIM. 2. Ed. São Paulo: Associação Brasileira dos escritórios de Arquitetura, 2015. 23p.

[6] BIM FÓRUM BRASIL. Guias de objetos BIM para a indústria de materiais de construção. 1.ed. São Paulo: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABDI, 2024.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15965-4: Sistema de classificação da informação da construção. Rio de Janeiro, 2021.

[8] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 23386: 2020. Building Information Modelling and other processes used in construction. ISO International Organization for Standardization, 2020.

[9] DIAL; RELUX. Standardized data format for lighting design: Structure and features. 2021. Disponível em: https:github.com. Acesso em: 25 Agosto 2024.

[10] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION TECHNICAL SPECIFICATION. PD CEN/TS 17623:2021. BIM Properties for lighting. Luminaires and sensing devices. Brussels, Belgium: CEN National Committees of the EU, 2021.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Padronização em etapa pré-BIM em empresa de saneamento – estudo de caso em companhia de saneamento

Pre-BIM standardization in sanitation companies – a case study at sanitation company

Lamara Brenda de B. Gomes| Saneago| lamara@saneago.com.br

Marcela R. de Magalhães |Saneago| marcelamagalhaes@saneago.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14475603

Resumo

A implantação do BIM em empresas de saneamento enfrenta desafios específicos, como a ausência de famílias e softwares especializados e a diversidade das tipologias de projeto, que variam de edificações simples a obras de infraestrutura de grande porte. A Saneago lida com um alto volume de projetos desenvolvidos por diferentes empresas para os 226 municípios que opera, o que torna a padronização de projetos e processos e o gerenciamento de documentos fundamentais para a eficácia do BIM. Neste contexto, a padronização foi identificada como crucial para o sucesso da implementação do BIM, devendo ser estabelecida na fase pré-BIM. Este estudo de caso apresenta as etapas de padronização adotadas pela Saneago, destacando sua importância para a fase inicial de maturidade BIM. A metodologia incluiu a contratação de um diagnóstico de maturidade BIM por uma empresa especializada, que realizou uma análise detalhada dos processos e procedimentos existentes. Com base nos resultados, foram definidas ações de padronização em quatro vertentes principais: Ambiente Comum de Dados; Fluxos de Trabalho; Manual de Projetos; e Projetos Típicos e Especificações Técnicas Normalizadas. Os resultados demonstram que a padronização e a criação de uma base sólida de conhecimento melhoraram a eficiência na elaboração de projetos e na contratação de obras de Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) e Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES). A padronização estabelecida contribuiu significativamente para a qualidade dos projetos e a consistência dos resultados, aproveitando soluções testadas e otimizadas. A adoção de diretrizes claras e o uso do CDE foram fatores essenciais para reduzir retrabalhos e aumentar a produtividade, preparando a empresa para a implantação BIM.

Palavras-chave: Saneamento. Padronização. CDE. BIM. Ambiente comum de dados.

Abstract

Implementing BIM in sanitation companies faces specific challenges, such as the lack of specialized families and software and the project typologies diversity, which range from simple buildings to large-scale infrastructure works. Saneago handles a high project volume developed by different companies for the 226 municipalities in which it operates, which makes the projects and processes standardization and document management essential for BIM effectiveness. In this context, standardization was identified as crucial for BIM implementation success and should be established in the pre-BIM phase. This case study presents the standardization steps adopted by Saneago, highlighting their importance for the initial phase of BIM maturity. The methodology included

contracting a BIM maturity diagnosis by a specialized company, which carried out a detailed analysis of the existing processes and procedures. Based on the results, standardization actions were defined in four main areas: (1) Common Data Environment (CDE); (2) Workflows; (3) Project Manual; and (4) Typical Projects and Standardized Technical Specifications. The results demonstrate that standardization and a solid knowledge base creation improved efficiency in Water Supply Systems and Sewage Systems works design and hiring. The established standardization contributed significantly to the project quality and the results, using tested and optimized solutions. Clear guidelines and CDE were essential factors in reducing rework and increasing productivity, preparing the company for BIM implementation.

Keywords: Sanitation. Standardization. CDE. BIM. Common data environment.

INTRODUÇÃO

A crescente complexidade dos projetos da construção civil e a demanda por maior eficiência e precisão têm impulsionado a adoção de novas metodologias e tecnologias. Dentre essas, o *Building Information Modelling* (BIM) tem se destacado como uma das mais promissoras, por sua capacidade de integrar informações e processos ao longo de todo o ciclo de vida de um empreendimento. Este estudo explora a implantação da metodologia BIM no setor de projetos de uma Companhia de Saneamento, visando otimizar os processos de contratação, elaboração e análise de projetos, influenciando diretamente na orçamentação, desenvolvimento e execução das obras e, por fim, na operação e manutenção dos sistemas de abastecimento de água (SAA) e sistema de esgotamento sanitário (SES).

A implementação do BIM é um processo gradual e multifacetado, que envolve a elaboração de documentações específicas, a adaptação de fluxos de trabalho, a padronização de procedimentos e o treinamento dos profissionais envolvidos [1]. Neste contexto, uma companhia de saneamento, que desenvolve e gerencia um grande volume de projetos, de diferentes portes, oferece um cenário ideal para um estudo detalhado sobre a introdução do BIM. Este estudo foca nas diretorias de expansão e produção da companhia, que são responsáveis pela concepção, execução, operação e manutenção dos projetos de saneamento.

O Brasil tem avançado na regulamentação e incentivo ao uso do BIM, especialmente por meio de decretos federais que estabelecem diretrizes para a sua adoção em obras públicas. O fomento à utilização de BIM no setor da construção civil iniciou-se com o Decreto nº 9.337, de 17 de maio de 2018 [2], que instituiu o Comitê estratégico de Implantação do BIM. Outro marco relevante é o decreto nº 10.306 [4], que estabeleceu a implantação do BIM de forma gradual, destacando o artigo 5º, § 1º, que a administração pública federal só poderá destinar recursos às obras e serviços de Engenharia desde que o BIM seja aplicado para o desenvolvimento dos serviços. Mais recentemente, o Decreto nº 11.888 de 22 de janeiro de 2024 [5] revogou o Decreto 9.983, atualizando as diretrizes da Estratégia BIM BR e instituindo novos membros do Comitê Gestor.

A aplicação do BIM em projetos de infraestrutura, como os de saneamento, alinha-se com as estratégias nacionais de obras públicas, sendo vista como uma maneira de aumentar a precisão orçamentária, melhorar o planejamento e reduzir os riscos de conflitos durante a execução das obras.

MATURIDADE BIM

A implantação da metodologia BIM em uma organização ou projeto se desenvolve de maneira gradual e contínua. Somente com o desenvolvimento contínuo de competências é possível garantir o desempenho eficaz da implantação [1].

Durante a evolução do processo de implantação BIM, a modelagem passa por diferentes estágios até chegar à sua excelência/funcionamento pleno, momento em que ocorre a total integração e

compatibilização das informações nos modelos. O nível de maturidade BIM está diretamente relacionado aos marcos de melhoria contínua do modelo, que identificam em qual estágio de evolução/maturidade aquele processo se encontra [1].

O nível de implementação/maturidade BIM pode ser classificado em cinco estágios, de acordo com requisitos mínimos, levando em consideração o número de disciplinas envolvidas nos projetos, fases do ciclo de vida das edificações abordadas e os níveis de adoção e utilização de políticas, processos e tecnologias. Os estágios de maturidade são: Pré-BIM, estágios 01, 02 e 03 e pós-BIM [6].

O estágio pré-BIM precede a implementação do BIM na organização. Nessa fase, o foco está na produção de pranchas impressas, e os projetos são desenvolvidos em 2 dimensões (2D) assistidos por computador ou com alguns elementos em 3 dimensões (3D), porém sem nenhuma informação associada. Neste estágio há um grande volume de trabalho mecânico por parte do projetista, sem gestão inteligente da informação e sem colaboração entre as disciplinas do projeto [6]. Esse é o estágio atual da companhia de saneamento, cujas ações abordadas neste trabalho visam garantir a evolução da maturidade BIM para o próximo estágio.

METODOLOGIA

Este artigo utilizou uma abordagem qualitativa e exploratória quanto aos aspectos da implantação da metodologia BIM no ambiente empresarial. A metodologia adotada foi uma combinação entre Pesquisa-Ação e Estudo de Caso, apresentando as etapas de padronização adotadas pela Companhia de Saneamento, destacando sua importância para a fase inicial de maturidade BIM e avaliando seu impacto para elevar a maturidade BIM. A metodologia incluiu a contratação de um diagnóstico de maturidade BIM por uma empresa especializada, que realizou uma análise detalhada dos processos e procedimentos existentes. Com base nos resultados, foram definidas ações de padronização.

O local de estudo foi a Companhia Estadual de Saneamento, a Saneago. A companhia atua em 226 dos 246 municípios do estado e tem como foco os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. A organização social da Saneago é de sociedade de economia mista e, atualmente, a empresa possui um pouco mais de 5.000 funcionários. A Superintendência de Estudos e Projetos (SUESP) da companhia, objeto deste estudo, é a unidade responsável pelos projetos de expansão da empresa.

DIAGNÓSTICO

No ano de 2021, a Saneago contratou uma consultoria com objetivo de elaborar de um relatório diagnóstico sobre processos, políticas e tecnologias para implantação da metodologia BIM.

O relatório foi baseado em uma série de entrevistas envolvendo cerca de 40 pessoas de áreas variadas da empresa, como: projetos, orçamentos, obras, operação dos sistemas e SIG (Sistemas de Informações Geográficas), além da análise dos documentos dos fluxos de trabalho e documentos da empresa à época.

Após a realização das entrevistas, foram indicadas as principais expectativas e desafios dos entrevistados em relação à implantação do BIM:

- Melhor integração e compatibilização entre as disciplinas;
- Maior confiabilidade dos projetos e orçamentos para a licitação e execução das obras;
- Melhor capacidade de desempenho dos computadores desktop/notebooks;
- Gestão centralizada, acessível e colaborativa de arquivos e documentos de projeto;
- Necessidade de capacitação em BIM específica para cada perfil de usuário;

Com base nas respostas dos questionários, foi elaborada uma matriz de maturidade BIM, considerando os usos pretendidos com a implantação, o estágio atual e o pretendido de maturidade em relação à metodologia BIM.

Diante do cenário apresentado pela matriz de maturidade BIM, percebeu-se que a Companhia ainda se encontrava em um estado inicial de maturidade BIM. Tanto a maturidade real quanto a pretendida ainda demandam uma sequência de medidas para garantir o avanço de modo a alcançar a maturidade desejada. A partir desse diagnóstico, aliado à necessidade da SUESP em garantir o aumento da qualidade e quantidade dos projetos para atender os contratos firmados entre a Saneago e os municípios, iniciou-se um período de reestruturação organizacional impactando também na maturidade BIM da companhia.

FRENTES DE AÇÃO

Com base no diagnóstico realizado e na necessidade de a SUESP aumentar a qualidade e quantidade dos projetos para atender aos contratos firmados entre a Saneago e os municípios, iniciou-se processo de reestruturação organizacional, impactando também na maturidade BIM da companhia.

Neste contexto, a padronização foi identificada como crucial para o sucesso da implementação do BIM, devendo ser estabelecida desde a fase pré-BIM.

Foram propostas algumas vertentes de trabalho, que ainda estão em andamento em 2024, para garantir avanços em relação à estrutura empresarial, especificamente da SUESP, de modo a promover a melhoria da qualidade dos projetos, bem como, avançar na maturidade BIM da companhia. As principais frentes de ação da padronização são:

1. Ambiente Comum de Dados (CDE);
2. Fluxos de Trabalho;
3. Manual de Projetos e;
4. Projetos Típicos e Especificações Técnicas Normalizadas;

FRENTE DE AÇÃO 1: AMBIENTE COMUM DE DADOS

O Ambiente Comum de Dados (*Common Data Environment* – CDE) é um repositório digital onde as informações e documentos de um projeto são centralizados, permitindo o acesso único para todos os envolvidos. Isso melhora a comunicação, a colaboração e reduz erros e duplicações. De acordo com a norma ABNT ISO 19650-1, o CDE é organizado em quatro quadrantes: trabalho em andamento, compartilhado, publicado e arquivado, que guiam o ciclo de vida do projeto.

Figura 1. Conceito de CDE (Fonte: ABNT ISO 19.650-1, 2022).



Fonte: Autores.

Na Saneago, foram realizados testes com o Autodesk Docs para CDE de modo convencional, mas devido à complexidade do sistema para a realidade da empresa, foi necessária a personalização da ferramenta. A companhia atende 226 cidades, das quais 61 possuem metas anuais de expansão, com um portfólio de projetos de mais de 10 anos. Essas demandas incluem desde escritórios administrativos até grandes infraestruturas, como barragens. Para organizar esse processo, cada meta de expansão recebeu um código de identificação individual, resultando em 103 projetos de design em andamento, 176 futuros e 80 estudos de concepção.

Inicialmente, o uso convencional do Autodesk Docs exigiria a criação de 360 ambientes distintos de projeto, o que seria inviável. Para solucionar esse desafio, a Saneago personalizou a ferramenta, criando um ambiente para cada um dos quadrantes definidos pela ISO 19650-1, facilitando a gestão dos projetos. A Tabela 1 resume esta personalização.

Tabela 1. Comparativo do uso convencional e da personalização do CDE no Autodesk Docs.

Uso convencional do Autodesk Docs	**Personalização do Autodesk Docs pela SUESP**
Cada objeto a ser projetado é um ambiente de projeto diferente	Cada quadrante do CDE é um ambiente de projeto diferente
Cada quadrante do CDE é uma pasta de arquivo	Cada objeto a ser projetado é uma pasta de arquivo

Fonte: Autores.

O CDE da Saneago foi estruturado em quatro ambientes principais, que foi inspirado nas etapas sugeridas pela ISO 19650-1, com algumas modificações:

- Projetos em Desenvolvimento: Espaço onde as empresas contratadas compartilham e revisam os projetos em prol da conclusão dos objetos do ID, utilizando ferramentas de versionamento e anotação do Autodesk Docs.
- Carteira de Projetos: Após a finalização dos projetos, a documentação é transferida para este ambiente, iniciando a etapa de orçamentação e instrução de licitação.

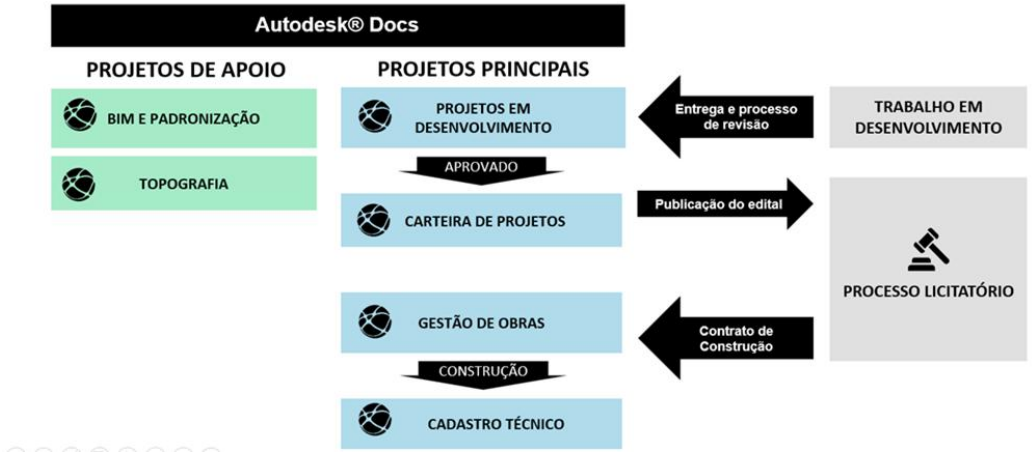
- Gestão de Obras: Armazena documentos gerados durante a execução das obras, como projetos executivos e as builts.
- Cadastro Técnico: Destinado ao armazenamento de documentação cadastral que será migrada para o ambiente GIS.

Além desses, há dois ambientes auxiliares:

- Topografia: Armazena e compartilha levantamentos topográficos, permitindo reutilização por cidade e consolidando uma base topográfica para o estado.
- BIM e Padronização: Funciona como uma "caixa de ferramentas" para projetistas, compartilhando documentos técnicos, manuais e tutoriais necessários para o desenvolvimento dos projetos.

A Figura 2 exemplifica a estrutura do CDE implantada.

Figura 2. Estrutura do CDE implantada.



Fonte: Autores.

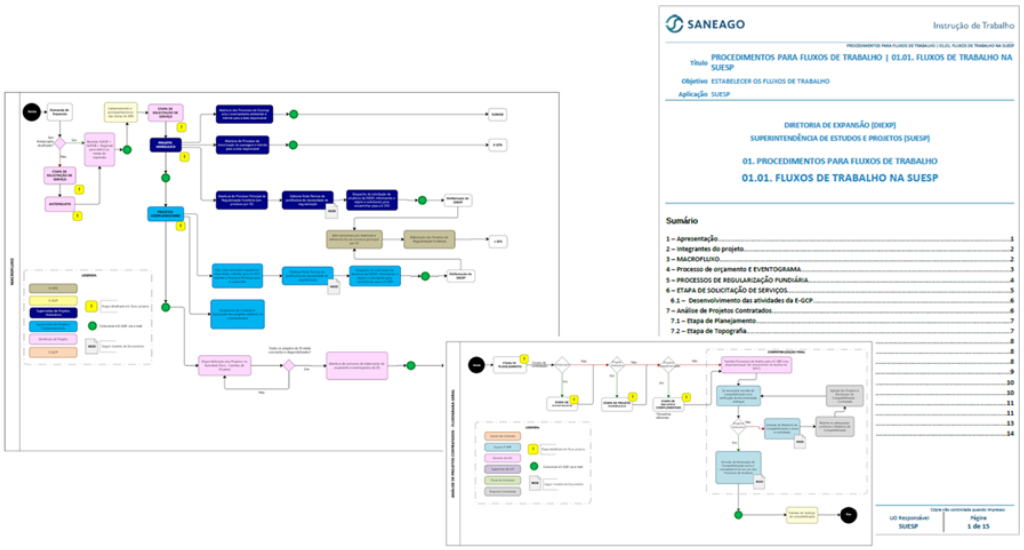
FRENTE DE TRABALHO 2: FLUXOS DE TRABALHO NA SUESP

Na época do diagnóstico da SUESP, faltavam documentações claras sobre as atividades das equipes, os fluxos de trabalho e a priorização das demandas em nível de superintendência, o que causava descompasso entre as gerências que deveriam trabalhar de forma integrada.

A SUESP reorganizou suas gerências e padronizou os fluxos de trabalho, criando, dentre outras mudanças, a Gerência de BIM e Padronização de Projetos (E-GBP). Com a nova estrutura, a E-GBP passou a mapear e propor adequações nos processos para a implantação do BIM, e todas as mudanças foram formalizadas em Instruções Normativas publicadas na intranet. A criação desta gerência foi fundamental para a organização das demais áreas, pois a partir dela foram gerados documentos de padronização essenciais para preparar a empresa para a implantação do BIM.

Na superintendência, a maioria dos projetos é elaborada por empresas contratadas, enquanto uma pequena parte é feita por projetistas internos. Assim, o fluxo de trabalho passou a se concentrar na análise e aprovação de projetos dentro da plataforma do CDE.

Figura 3. Exemplo da documentação que instrui os fluxos de trabalho da SUESP (Fonte: Autores).



Fonte: Autores.

Todos estes documentos normativos de fluxos de trabalho e modelos de documentos que foram desenvolvidos foram disponíveis no CDE, com acesso para as equipes de projetos da Saneago.

Frente de Ação 3: Manual de Estudos e Projetos

O manual de projetos da Saneago é o documento que norteia as análises e a elaboração de projetos na companhia. Antes um único volume abrangendo todas as disciplinas, o manual foi dividido em grupos correspondentes a cada área de projeto, como hidráulica, elétrica e estrutura. Cada grupo possui Instruções de Trabalho, permitindo revisões mais frequentes e pontuais. A atualização trouxe maior objetividade nas informações técnicas e preparou a documentação para a gestão em BIM, garantindo que todos os projetos sigam premissas consistentes e coerentes.

Figura 4. Organização do manual de projetos da SANEAGO.



Fonte: Autores.

Um destaque foi a elaboração de um módulo específico para Projetos em BIM, que apresenta o que se espera das entregas em BIM, considerando o nível de maturidade em que nos encontramos. Contém quadros com os Níveis de Desenvolvimento (ND) e Níveis de Informação (NI) para cada tipologia de projeto de saneamento, como unidades lineares e localizadas, separadas por disciplinas como estrutural, elétrico, hidráulico e terraplenagem. Destaca-se que os softwares utilizados são os da AEC Collection, que a Saneago já possui licenças desde 2018. Todos os contratos passaram a solicitar que

os projetos fossem feitos em BIM desde então. As mudanças foram fundamentais para padronizar os fluxos de trabalho e promover avanços no eixo de “Políticas”.

Frente de Ação 4: Projetos Típicos e Especificações Técnicas Padrão

A padronização promove agilidade nos processos, reduz retrabalho e incorpora ao longo do processo de padronização a melhoria contínua nos seus processos. Com base nisso, foi realizado um levantamento para identificar quais eram os principais objetos que poderiam ter o seu padrão elaborado, bem como, quais materiais e equipamentos poderiam ter uma Especificação Técnica Normalizada. Até o momento foram elaborados 80 projetos típicos e 16 Especificações Técnicas Normalizadas. Os projetos típicos foram elaborados conforme metodologia BIM. E todas as documentações produzidas são disponibilizadas no ambiente ‘BIM e Padronização’ tanto para a equipe de projetos da SUESP, quanto para a equipe contratada de elaboração de projetos, que prioritariamente, deverá utilizar a documentação fornecida pela companhia em seus projetos, quando aplicável.

Conclusão

A utilização do CDE mostrou-se fundamental para garantir a integração, a agilidade e a confiabilidade das informações dos projetos, consolidando uma fonte única de dados. Mesmo em um estágio inicial de implementação BIM, já são evidentes os benefícios como melhorias na comunicação, rastreabilidade de alterações e transparência nas decisões de projeto.

A padronização, um dos principais pilares da metodologia BIM, determina as informações que devem acompanhar o objeto durante todo o seu ciclo de vida, fortalecendo a estrutura organizacional e facilitando a transição para níveis mais avançados de maturidade BIM. A continuidade desse processo é essencial para o sucesso na implementação do BIM, pois aborda cada vez mais a necessidade de organização e uniformização dos fluxos de trabalho, assegurando que os papéis e as responsabilidades estejam bem definidos para todos os envolvidos.

REFERÊNCIAS

[1] MANZIONE, L. MELHADO, S. NÓBREGA Jr, C.L. BIM e inovação em gestão de projetos. Editora LTC, 2021.

[2] BRASIL. Decreto federal nº 9.377 de 17 de maio de 2018. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling.

[3] BRASIL. Decreto federal nº 9.983 de 22 de agosto de 2019. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia de Building Information Modelling.

[4] BRASIL. Decreto federal nº 10306 de 02 de abril de 2020. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras ou serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal.

[5] BRASIL. Decreto federal nº 11.888 de 22 de janeiro de 2024. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil – Estratégia BIM BR e institui o Comitê Gestor da Estratégia de Building Information Modelling – BIM BR.

[6] SUCCAR, B. *Building Information Modelling Framework A research and delivery foundation for industry stakeholders.* Elsevier, Australia, ano 2009, v. 18, 9 dez. 2009. Automation in Construction, p. 357-375.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Plano de ação para implementação do BIM com foco no planejamento estratégico e avaliação de maturidade organizacional

Action plan for BIM implementation with focus on strategic planning and organizational maturity assessment

Daniel Alves Moura | STE-Serviços Técnicos de Engenharia | ddalves5456@gmail.com | 0000-0002-2580-5724
Raul Pinto Neto | Supera Engenharia | raulengc@gmail.com | 0009-0003-2321-2874

DOI: 10.5281/zenodo.14475654

Resumo

A implementação do *Building Information Modeling* (BIM) em empresas de engenharia e construção enfrenta desafios relacionados à maturidade organizacional necessária para integrar essa metodologia. O BIM, reconhecido por seu potencial de transformar o setor ao promover eficiência e colaboração, exige planejamento cuidadoso e avaliação contínua para ser adotado com sucesso. Este estudo tem como objetivo desenvolver um plano de ação detalhado para implementar o BIM na Supera Engenharia, usando ferramentas de planejamento estratégico e modelos de avaliação de maturidade, fornecendo um caminho estruturado para outras organizações do setor. A metodologia do estudo foi baseada em um estudo de caso realizado na Supera Engenharia, que atua em áreas como construção civil, automação e manutenção predial. O estudo foi dividido em três etapas principais. Na primeira etapa, foi realizado um diagnóstico organizacional com questionários e entrevistas aplicados aos colaboradores, além da aplicação da ferramenta BIM *Assessment Profile* da Pennsylvania State University, que avaliou o nível de maturidade da empresa em relação ao BIM. Na segunda etapa, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre modelos de implementação de BIM e planejamento estratégico. Utilizou-se a matriz SWOT (Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças) para identificar os principais pontos fortes e fracos da Supera Engenharia, bem como oportunidades e ameaças externas. Essa análise permitiu uma compreensão mais profunda das condições internas e externas que influenciam a adoção do BIM. Na terceira etapa, foi elaborado um plano de ação utilizando a metodologia 5W2H (*What, Why, Where, When, Who, How, How Much*), dividido em níveis estratégico, tático e operacional. O plano incluiu medidas práticas para melhorar a integração do BIM nos processos da empresa, com ações como a criação de uma equipe interna dedicada à implementação, o desenvolvimento de um programa de capacitação para os colaboradores e a adoção de melhores práticas de gestão de projetos com BIM. Os resultados indicaram que a Supera Engenharia possui uma infraestrutura tecnológica robusta, o que facilita a adoção do BIM. No entanto, a empresa enfrenta desafios em termos de capacitação de pessoal e padronização de processos, essenciais para a plena adoção da tecnologia. A análise de maturidade organizacional revelou que a Supera está em um estágio inicial de adoção do BIM, com amplas oportunidades de melhoria, principalmente na capacitação e na gestão de processos. A matriz SWOT destacou como pontos fortes a infraestrutura tecnológica e a capacidade de investimento, mas apontou como fraquezas a resistência cultural à mudança e a ausência de uma estratégia de longo prazo para a adoção completa do BIM. O plano de ação proposto vai além de soluções tecnológicas, abordando também as dimensões culturais e processuais necessárias para o sucesso da implementação do BIM.

O estudo conclui que a implementação do BIM tem o potencial de transformar a Supera Engenharia em uma referência no setor, promovendo inovação, produtividade e competitividade. A principal contribuição do trabalho é demonstrar como o alinhamento entre planejamento estratégico e avaliação de maturidade organizacional pode facilitar a adoção do BIM em empresas de engenharia, promovendo maior eficiência no mercado.

Palavras-chave: BIM. Modelos de Maturidade. Planejamento Estratégico. Gestão de Projetos. Adoção Tecnológica.

Abstract

The implementation of Building Information Modeling (BIM) in engineering and construction companies faces challenges related to the organizational maturity required to integrate this technology. BIM, recognized for its potential to transform the sector by promoting efficiency and collaboration, requires careful planning and continuous evaluation to be successfully adopted. This study aims to develop a detailed action plan for implementing BIM at SUPERA ENGENHARIA, using strategic planning tools and maturity assessment models, providing a structured path for other organizations in the sector. The study methodology was based on a case study at SUPERA ENGENHARIA, which operates in areas such as construction, automation and building maintenance. The study was divided into three main stages. In the first stage, an organizational diagnosis was carried out with questionnaires and interviews applied to employees, as well as the application of Pennsylvania State University's BIM Assessment Profile tool, which assessed the company's level of maturity in relation to BIM. In the second stage, a literature review was carried out on BIM implementation models and strategic planning. The SWOT matrix (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats) was used to identify SUPERA ENGENHARIA's main strengths and weaknesses, as well as external opportunities and threats. This analysis provided a deeper understanding of the internal and external conditions influencing the adoption of BIM. In the third stage, an action plan was drawn up using the 5W2H methodology (What, why, Where, When, Who, How, How Much), divided into strategic, tactical and operational levels. The plan included practical measures to improve the integration of BIM into the company's processes, with actions such as the creation of an internal team dedicated to implementation, the development of a training program for employees and the adoption of best practices in project management with BIM. The results indicate that SUPERA ENGENHARIA has a robust technological infrastructure, which facilitates the adoption of BIM. However, the company faces challenges in terms of staff training and process standardization, which are essential for the full adoption of the technology. The organizational maturity analysis revealed that SUPERA is at an early stage of BIM adoption, with ample opportunities for improvement, especially in training and process management. The SWOT matrix highlighted technological infrastructure and investment capacity as strengths, but pointed to cultural resistance to change and the lack of a long-term strategy for the complete adoption of BIM as weaknesses. The proposed action plan goes beyond technological solutions, also addressing the cultural and procedural dimensions necessary for the successful implementation of BIM. The study concludes that the implementation of BIM has the potential to transform SUPERA ENGENHARIA into a benchmark in the sector, promoting innovation, productivity and competitiveness. The main contribution of the work is to demonstrate how the alignment between strategic planning and organizational maturity assessment can facilitate the adoption of BIM in engineering companies, promoting greater efficiency in the market.

Keywords: BIM. Maturity Models. Strategic Planning. Project Management. Technological Adoption.

INTRODUÇÃO

A disseminação do BIM na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) tem ocorrido de maneira desigual entre os países, sendo impulsionada por fatores como o nível de desenvolvimento econômico, o grau de padronização na construção e a percepção dos benefícios por clientes e profissionais [1]. Inicialmente promovido por construtoras e escritórios de arquitetura, o BIM no Brasil tem atraído também bancos e agências públicas como o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e a Caixa Econômica Federal, além de empresas como Método Engenharia e Odebrecht, que estão na vanguarda dessa adoção [2][3].

Apesar dos benefícios, a implementação do BIM enfrenta desafios, como o alto custo de aquisição de softwares, equipamentos e treinamento, além da resistência cultural dentro das organizações

[4][5][6].Nesse cenário, a Supera Engenharia destaca-se ao incorporar a sustentabilidade como um pilar de sua atuação em diversas áreas, como Incorporação Imobiliária e Construção, e enxergando no BIM uma ferramenta estratégica para reduzir custos, otimizar prazos e manter a qualidade, elementos centrais no "triângulo de ferro" da gestão de projetos.

A Supera empregou métodos de planejamento estratégico para alinhar sua adoção do BIM aos objetivos organizacionais, utilizando a Matriz SWOT e o método 5W2H. A Matriz SWOT é utilizada para avaliar forças e fraquezas internas, e oportunidades e ameaças externas [7], enquanto o método 5W2H (*What*, *Why*, *Who*, *Where*, *When*, *How* e *How Much*) facilita o detalhamento de um plano de ação executável [8]. Além disso, o modelo BIMAP da Pennsylvania State University foi adotado por sua objetividade e flexibilidade, sendo especialmente útil para organizações que estão nas fases iniciais de implementação [9][10].

Estudos de caso destacam a importância do planejamento estratégico para que o BIM promova inovação e produtividade. A Editora Pini [11] revela otimismo na adoção do BIM no Brasil, com interesse crescente entre arquitetos e engenheiros. O relatório NBS BIM 2020 [12] também aponta maior familiaridade com o BIM e novas soluções tecnológicas. Este estudo demonstra que alinhar planejamento estratégico e BIM pode aumentar a competitividade e eficiência, superando desafios técnicos e culturais. A experiência da Supera Engenharia oferece um modelo de implementação nos níveis estratégico, tático e operacional, que pode servir referência para outras empresas no processo de adoção do BIM.

METODOLOGIA

A pesquisa científica usa métodos sistemáticos e lógicos para resolver problemas [13]. Neste estudo, o problema é: como implementar o BIM de forma a apoiar os objetivos estratégicos de uma empresa do setor AEC? A metodologia científica segue etapas de problema, método, solução, aplicação e conhecimento [14]. Após identificar o problema, foi feita uma revisão bibliográfica sobre Planejamento Estratégico e Modelos de Implementação do BIM, resultando em um fluxo de trabalho que considera os níveis de planejamento estratégico, tático e operacional.

A solução foi testada em um estudo de caso realizado na Supera Engenharia, resultando em um Plano de Implementação BIM. O estudo envolveu três etapas principais: diagnóstico organizacional com questionários, entrevistas e a ferramenta BIM Assessment Profile para avaliar a maturidade em BIM; revisão bibliográfica e análise SWOT; e desenvolvimento de um plano de ação utilizando a metodologia 5W2H, organizado nos níveis estratégico, tático e operacional. O Quadro 1 resume as ferramentas e documentos gerados em cada etapa.

Quadro 1: Descrição das ferramentas e documentos de saída em cada etapa/subetapa da metodologia.

ETAPA	SUBETAPA	FERRAMENTA	SAÍDA
Diagnóstico estratégico	Caracterização da instituição	Pesquisa documental	Ficha de Informação
Diagnóstico estratégico	Análise de ambiente	Matriz SWOT	Análise de Matriz SWOT
Diagnóstico BIM	Diagnóstico da Infraestrutura	Entrevista Semiestruturada	Diagnóstico de Infraestrutura
Diagnóstico BIM	Diagnóstico de Pessoas	Entrevista Estruturada	Diagnóstico de Pessoas
Diagnóstico BIM	Diagnóstico dos Processos	Entrevista Semiestruturada	Diagnóstico dos Processos
Diagnóstico BIM	Diagnóstico dos Procedimentos	Entrevista Semiestruturada	Diagnóstico dos Procedimentos
Diagnóstico BIM	Análise da Adoção do BIM	Entrevista Aberta	Análise da Adoção do BIM
Diagnóstico BIM	Análise da Maturidade	BIM Assessment Profile	Análise de Maturidade
Plano de Implementação BIM	Plano de Ação	5W2H	Plano de Ação

Fonte: Autores, 2024.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise realizada na Supera Engenharia incluiu o diagnóstico estratégico, o diagnóstico BIM e a avaliação da maturidade BIM, examinando detalhadamente as características específicas da implementação do BIM e as percepções dos entrevistados. Com base nesses resultados, foi elaborado um plano de ação para a implementação do BIM, organizado em três níveis de planejamento — estratégico, tático e operacional — para atender às necessidades específicas da empresa.

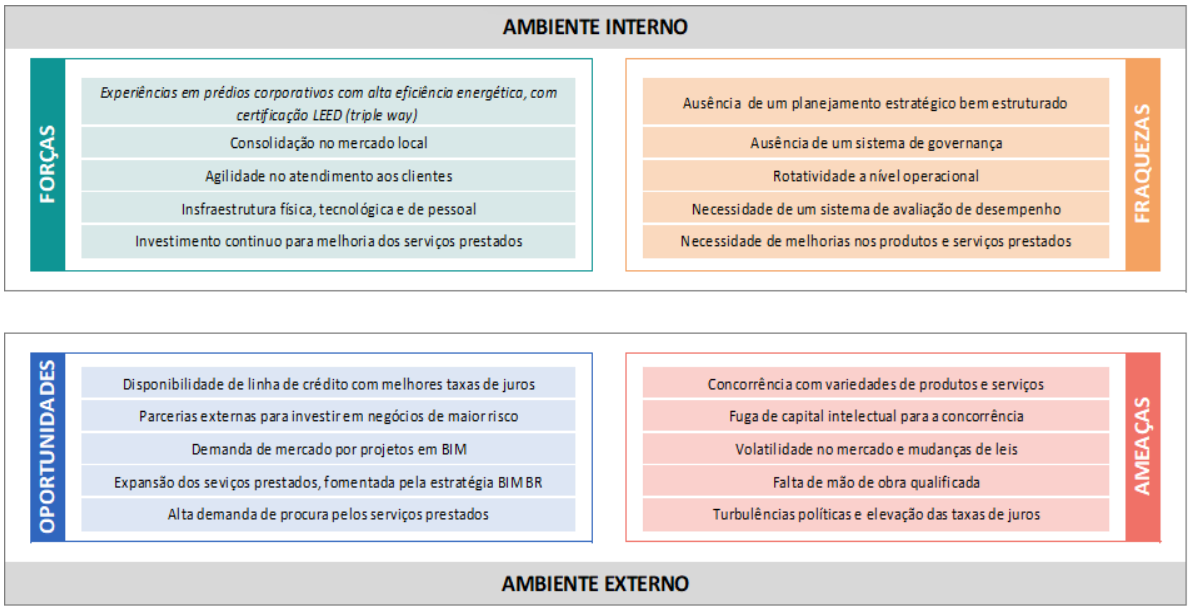
DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO

O diagnóstico estratégico da Supera Engenharia avaliou a posição da empresa no ambiente interno e externo (matriz SWOT), orientando estratégias para a adoção bem-sucedida do BIM. A análise identificou alinhamento da missão, visão e valores da empresa com a inovação e os benefícios do BIM, estabelecendo objetivos estratégicos para sua implementação. A primeira etapa incluiu coleta de informações organizacionais por revisão documental e entrevistas com diretores, destacando:

a) Missão: Foco em soluções de engenharia de alta qualidade e integração de tecnologias inovadoras como o BIM.
b) Visão: Tornar-se referência em inovação e qualidade, com o BIM como diferencial competitivo.
c) Valores: Excelência e inovação, sustentando o uso de tecnologias avançadas.

Para um planejamento estratégico eficaz, definem-se ações, objetivos e metas, com a matriz SWOT organizando as ideias a partir de pesquisa e entrevistas, conforme apresentado na Figura 1.

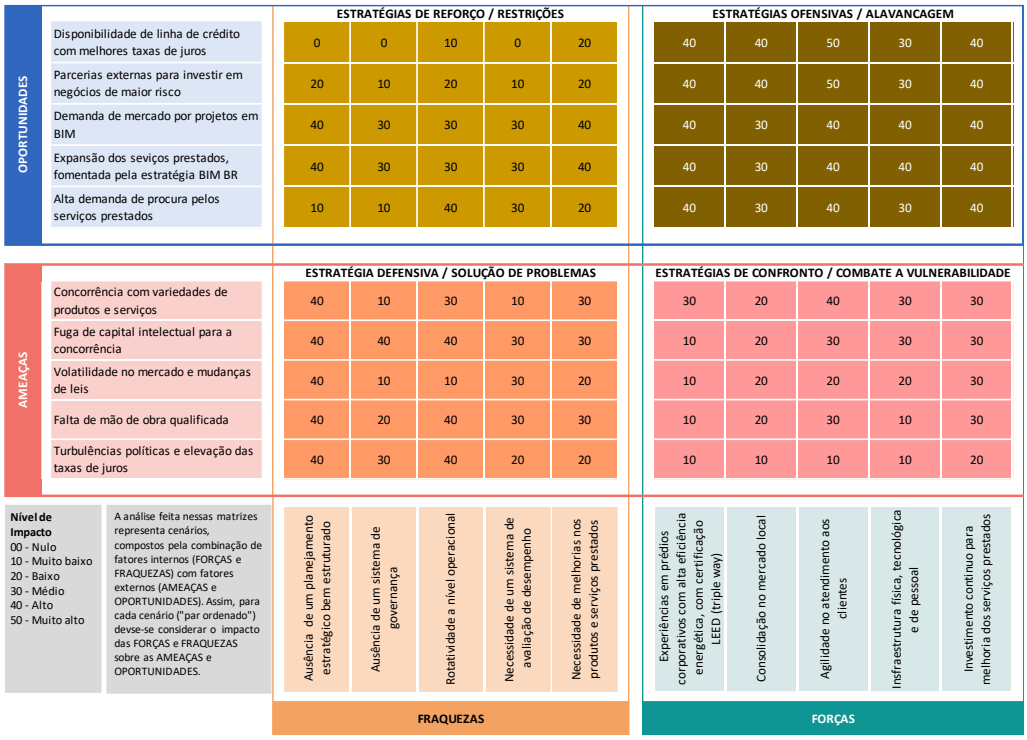
Figura 1: Matriz SWOT.



Fonte: Autores, 2024.

A análise da matriz oferece uma visão detalhada das forças e fraquezas internas, assim como das oportunidades e ameaças externas. Os elementos foram organizados com foco na implementação do BIM, buscando aproveitar oportunidades externas para mitigar fraquezas internas e melhorar a qualidade dos projetos. A análise cruzada entre forças e fraquezas em relação às oportunidades e ameaças, ilustrada na Figura 2, foi conduzida por meio de perguntas padronizadas, facilitando a identificação dos impactos e a hierarquização das variáveis influentes.

Figura 2: Análise Cruzada da Matriz SWOT.



		ESTRATÉGIAS DE REFORÇO / RESTRIÇÕES					ESTRATÉGIAS OFENSIVAS / ALAVANCAGEM				
OPORTUNIDADES	Disponibilidade de linha de crédito com melhores taxas de juros	0	0	10	0	20	40	40	50	30	40
	Parcerias externas para investir em negócios de maior risco	20	10	20	10	20	40	40	50	30	40
	Demanda de mercado por projetos em BIM	40	30	30	30	40	40	30	40	40	40
	Expansão dos seviços prestados, fomentada pela estratégia BIM BR	40	30	30	30	40	40	30	40	40	40
	Alta demanda de procura pelos serviços prestados	10	10	40	30	20	40	30	40	30	40
		ESTRATÉGIA DEFENSIVA / SOLUÇÃO DE PROBLEMAS					ESTRATÉGIAS DE CONFRONTO / COMBATE A VULNERABILIDADE				
AMEAÇAS	Concorrência com variedades de produtos e serviços	40	10	30	10	30	30	20	40	30	30
	Fuga de capital intelectual para a concorrência	40	40	40	30	30	10	20	30	30	30
	Volatilidade no mercado e mudanças de leis	40	10	10	30	20	10	20	20	20	30
	Falta de mão de obra qualificada	40	20	40	30	30	10	20	30	10	30
	Turbulências políticas e elevação das taxas de juros	40	30	40	20	20	10	10	10	10	20
		Ausência de um planejamento estratégico bem estruturado	Ausência de um sistema de governança	Rotatividade a nível operacional	Necessidade de um sistema de avaliação de desempenho	Necessidade de melhorias nos produtos e serviços prestados	Experiências em prédios corporativos com alta eficiência energética, com certificação LEED (triple way)	Consolidação no mercado local	Agilidade no atendimento aos clientes	Infraestrutura física, tecnológica e de pessoal	Investimento contínuo para melhoria dos serviços prestados
		FRAQUEZAS					FORÇAS				

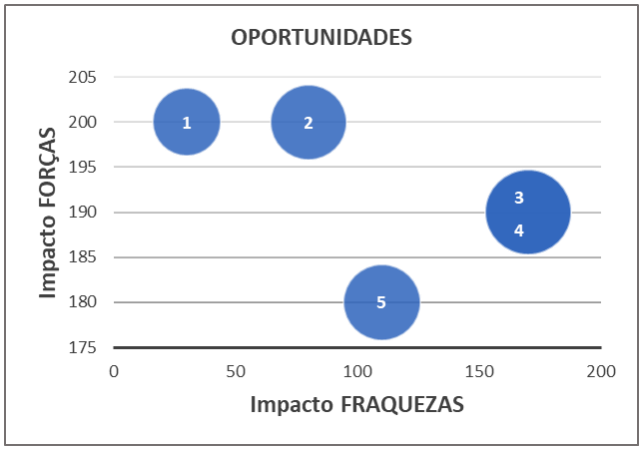
Nível de Impacto
00 - Nulo
10 - Muito baixo
20 - Baixo
30 - Médio
40 - Alto
50 - Muito alto

A análise feita nessas matrizes representa cenários, compostos pela combinação de fatores internos (FORÇAS e FRAQUEZAS) com fatores externos (AMEAÇAS e OPORTUNIDADES). Assim, para cada cenário ("par ordenado") devse-se considerar o impacto das FORÇAS e FRAQUEZAS sobre as AMEAÇAS e OPORTUNIDADES.

Fonte: Autores, 2024.

Os resultados mostraram que as forças da empresa estão ligadas às oportunidades, enquanto as fraquezas afetam as ameaças. A análise indica que a Oportunidade 1 tem uma forte relação com as Forças, e a Oportunidade 2 apresenta um potencial aproximadamente duas vezes maior, conforme a Figura 3. Essas características favorecem um resultado bem-sucedido caso se opte por investir nas oportunidades identificadas.

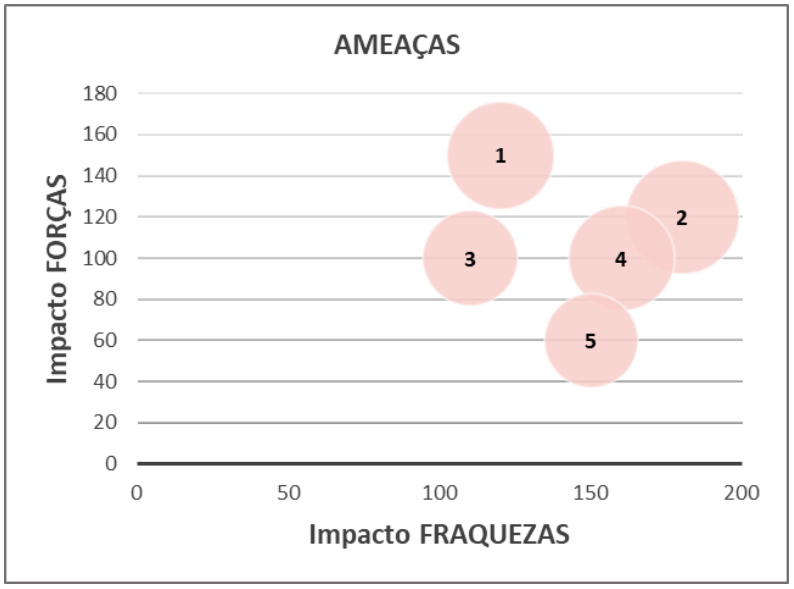
Figura 3: Análise Matricial – Oportunidades.



Fonte: Autores, 2024.

Além disso, o resultado dessa análise evidencia que suas Fraquezas sobressaem na incidência sobre suas Ameaças, conforme a Figura 4 a seguir. Neste caso, é preciso recorrer aos objetivos e metas de sua proposta, buscando avaliar o grau de risco de investimento, uma vez que, uma de suas ameaças possui Fraquezas aproximadamente 1,5 vezes maiores do que suas Forças.

Figura 4: Análise Matricial – Ameaças.



Fonte: Autores, 2024.

Durante o diagnóstico estratégico da organização, foram identificadas as metas BIM essenciais para alcançar os objetivos, que incluem aprimoramentos na modelagem, implementação de modelo federado, análise de interferências, extração de quantitativos para orçamentação e definição de padrões e critérios de aceitação de projetos em BIM.

DIAGNÓSTICO BIM

A análise detalhada revelou desafios para a implementação do BIM na Supera Engenharia, cuja estrutura foi incorporada ao diagnóstico BIM e servirá de base para o Plano de Ação da adoção do BIM. O diagnóstico apontou a maturidade organizacional em infraestrutura, capacitação de pessoal, processos e procedimentos como áreas essenciais a desenvolver para o uso eficaz do BIM. Os resultados indicam que a Supera está em fase inicial de adoção e requer desenvolvimento em diversas áreas, incluindo criação de protocolos e diretrizes (Quadro 2).

a) Infraestrutura: A empresa possui recursos tecnológicos, como softwares de design e ferramentas de comunicação, mas carece de uma integração robusta entre sistemas. A falta de um sistema de gestão centralizado para o ciclo completo do projeto é um desafio, além do uso de plataformas dispersas como Google Drive para dados.
b) Pessoas: A capacitação dos colaboradores é um ponto crítico. A equipe técnica possui algum conhecimento em BIM, mas não há plano de treinamento contínuo para desenvolver as habilidades necessárias, e a falta de uma equipe dedicada ao BIM impacta a implementação.
c) Processos: Os processos integrados para colaboração entre departamentos via BIM ainda são ausentes. A troca de informações entre áreas, como projetos, planejamento e execução, é fragmentada, sem fluxo de trabalho que assegure coordenação.
d) Procedimentos: Não há padrões formalizados para o uso do BIM, nem protocolos para orientar seu uso de maneira eficiente e padronizada em todos os projetos, dificultando a colaboração e a consistência.

Para avaliar a maturidade BIM, utilizou-se o BIM Assessment Profile, focando nos elementos de planejamento BIM: Estratégias, Usos, Processos, Informação, Infraestrutura e Pessoas [15]. A avaliação apontou o nível atual de maturidade e o nível desejado para o fim do processo. O Plano de Ação, em níveis tático e operacional, define metas BIM a partir dos objetivos estratégicos da empresa. O Quadro 2 sintetiza a pontuação de maturidade segundo o modelo [15].

Quadro 2: Matriz de Maturidade em BIM – BIM Assessment Profile.

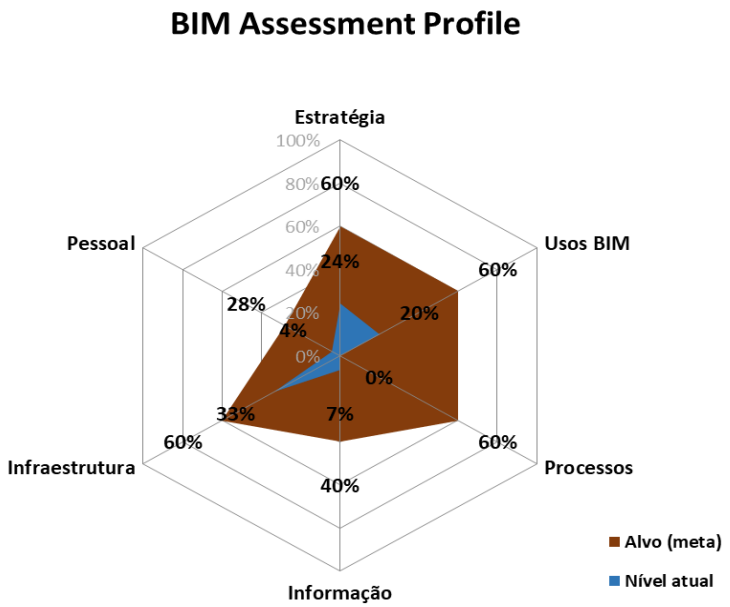
MATRIZ DE MATURIDADE EM BIM ELEMENTOS DE PLANEJAMENTOS BIM									
Avaliação na Granularidade	**Inexistente (0 pts)**	**Inicial (1 pts.)**	**Gerenciado (2 pts.)**	**Definido (3 pts.)**	**Gerenciado Quantitativamente**	**Otimizado (5 pts.)**	**Nível Atual**	**Alvo (Meta)**	**Total Possível**
Estratégia							**6**	**15**	**25**
Missão e Objetivos Organizacionais			2			5	**2**	**5**	**5**
Visão e Objetivos BIM			2		4		**2**	**4**	**5**
Suporte de gestão			2	3			**2**	**3**	**5**
Campeão BIM	0	1					**0**	**1**	**5**
Comitê de Planejamento BIM	0		2				**0**	**2**	**5**
Usos BIM							**2**	**6**	**10**
Usos do projeto			2		4		**2**	**4**	**5**
Usos operacionais	0		2				**0**	**2**	**5**
Processo							**0**	**6**	**10**
Processos do projeto	0			3			**0**	**3**	**5**
Processos Organizacionais	0			3			**0**	**3**	**5**
Informação							**1**	**6**	**15**
Detalhamento do Elemento do Modelo	0	1					**0**	**1**	**5**
Nível de Desenvolvimento (LOD)		1		3			**1**	**3**	**5**
Dados da instalação	0		2				**0**	**2**	**5**
A infraestrutura							**5**	**9**	**15**
Programas			2		4		**2**	**4**	**5**
Hardware				3	4		**3**	**4**	**5**
Espaços físicos	0	1					**0**	**1**	**5**
Pessoal							**1**	**7**	**25**
Papéis e responsabilidades	0	1					**0**	**1**	**5**
Hierarquia organizacional	0	1					**0**	**1**	**5**
Educação	0	1					**0**	**1**	**5**
Treinamento	0		2				**0**	**2**	**5**
Prontidão para mudança		1	2				**1**	**2**	**5**
TOTAL							**15**	**49**	**100**

Nível Atual
Alvo (Meta)

Fonte: Autores (2024).

A avaliação de maturidade revela que a empresa possui um nível baixo de maturidade BIM, com diferentes estágios para os elementos do planejamento. O modelo analítico sugere ações estratégicas para elevar a maturidade e focar em áreas críticas, evidenciadas no Quadro 2, que destaca a ausência de pontuação em alguns aspectos. Com a aplicação do BIM Assessment Profile pelo sócio-diretor, foi identificado o estágio atual e as metas para cada elemento. A Figura 5 mostra que as áreas de infraestrutura, estratégia e usos BIM estão mais desenvolvidas, enquanto processos, pessoal e informação precisam de melhorias em definição de processos, qualificação profissional e padronização de informações.

Figura 5: Resultado da avaliação de maturidade da empresa.



Fonte: Autores, 2024.

A Tabela 1 resume a avaliação de maturidade BIM da organização, que atualmente está em 15 pontos, com um nível desejado de 49 pontos, de um total de 100. Isso representa um índice de maturidade de 15%, demandando esforços homogêneos em todas as áreas para alcançar o objetivo.

Tabela 1: Perfil de Avaliação BIM organizacional.

Elemento de Planejamento BIM	Nível atual	Alvo (meta)	Total possível
Estratégia	**6**	**15**	**25**
Usos BIM	**2**	**6**	**10**
Processos	**0**	**6**	**10**
Informação	**1**	**6**	**15**
Infraestrutura	**5**	**9**	**15**
Pessoal	**1**	**7**	**25**
Total	**15**	**49**	**100**

Fonte: Autores, 2024.

PROPOSIÇÃO PLANO DE AÇÃO NOS NÍVEIS ESTRATÉGICO, TÁTICO E OPERACIONAL

O plano de implementação do BIM foi desenvolvido com base em três níveis de planejamento (Estratégico, Tático e Operacional), a partir do diagnóstico estratégico da organização, do diagnóstico BIM e da avaliação de maturidade. Foram definidos objetivos e metas focados na melhoria da qualidade das obras e dos projetos. A ferramenta 5W2H facilitou a execução da estratégia. Algumas premissas para a interpretação dos resultados incluem:

a) prazos ilustrativos;
b) foco exclusivo na qualidade dos projetos e aumento da maturidade BIM;
c) abrangência dos níveis tático e operacional.

Plano de Ação a Nível Estratégico:

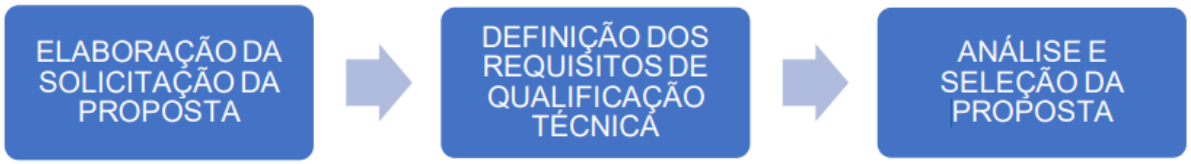
Com base nos diagnósticos estratégico e BIM, recomenda-se que a Supera Engenharia, na próxima revisão de seu Planejamento Estratégico, crie um BIM Mandate, que definirá diretrizes, padrões e formatos de entrega para facilitar a colaboração em projetos BIM, alinhando os objetivos estratégicos da empresa à adoção do BIM. Além disso, é essencial revisar as atribuições do coordenador de projetos, integrando responsabilidades relacionadas ao BIM e criando um Núcleo ou Escritório BIM, liderado por um *BIM Manager*, responsável pela implementação do BIM e suporte à alta gestão em decisões estratégicas.

A empresa deve incluir também um Núcleo de Coordenação BIM, encarregado de implantar contratos colaborativos IPD e adotar BIM 4D e 5D para planejamento e orçamentação de obras. A integração dos objetivos de implementação do BIM com a estratégia empresarial é crucial para definir sua visão de futuro, sustentar o projeto piloto e garantir o engajamento da equipe.

Plano de Ação a Nível Tático:

O planejamento tático serve como um nível intermediário que conecta o planejamento estratégico ao operacional, focando na coordenação dos setores para atingir objetivos de médio prazo. Na Supera Engenharia, o principal objetivo é aprimorar a qualidade dos projetos e elevar o nível de maturidade em BIM, estabelecendo metas como a criação de critérios de avaliação para a seleção de empresas contratadas e um processo de troca de informações. A Figura 6 ilustra o fluxograma das etapas do plano de ação.

Figura 6: Fluxo de etapas do plano de Ação Tático.



Fonte: Autores, 2024.

Considerando que a empresa atua como gerenciadora e pode aplicar modelos de contratação como *Design-Build* (D&B) *e Engineering Procurement and Construction* (EPC), foram propostas as seguintes ações:

- Modelo de solicitação de propostas: A empresa já possui um processo eficiente, e a proposta é incluir requisitos BIM para alinhar as expectativas de troca de informações conforme [16]. Isso abrange quatro tipos de requisitos de informação:
- Organizacionais (OIR): Necessidades internas.
- Ativos (AIR): Informações úteis durante o ciclo de vida do ativo.
- Projetos (PIR): Dados específicos para a execução do projeto.
- Trocas de Informações (EIR): Requisitos que consolidam os anteriores e especificam como as informações devem ser trocadas.

A inclusão desses requisitos assegura a entrega adequada das informações essenciais para o BIM, minimizando alterações nos processos existentes. O plano de ação tático para a implementação do modelo de solicitação de propostas foi estruturado de forma abrangente, conforme detalhado no Quadro 3.

Quadro 3: Plano de ação para implementação do modelo de solicitação de propostas.

PLANO DE AÇÃO 5W2H - TÁTICO

AÇÃO: Proposição de Modelo de solicitação de propostas
PRAZO PREVISTO: de 04/mar à 10/julho **DATA REALIZADA:** A concluir
RESPONSÁVEL: Setor Administrativo / Empresa Contratada
OBJETIVO: Melhorar a qualidade dos projetos e aumentar o nível de maturidade em BIM da empresa

5W					2H		Status
O quê?	Porque?	Onde?	Quem	Quando	Como?	Quanto custa?	
Levantar requisitos de troca de informação	Necessário especificar precisamente quais informações devem ser entregues em cada troca de informações.	Setor administrativo/ Coordenação	Coordenadores e Gestores	até 01/abr	Pesquisar com os outros encarregados e chefia, normativos e leis	A estimar	A fazer
Elaborar plano de execução BIM Pré Contratação	Documentar as estratégias de trabalho e suas respectivas metas. incluir diretrizes de como serão feitos os compartilhamentos e trocas de informações, processos colaborativos, requisitos de armazenamento de dados, infraestrutura necessária e procedimentos para controle de qualidade.	Setor administrativo/ Coordenação	Coordenadores e Gestores	até 13/mai	Documentar uma estrutura de trabalho e estratégias que conduzirão o projeto de forma eficiente, por meio de pesquisas e capacitação externa	A estimar	A fazer
Fornecer informações necessárias	Ter clareza na comunicação e facilitar o acesso as informações necessárias para o fornecimento da proposta por parte da contratada.	Setor administrativo/Escritório Empresa Contratada	Analista	até 03/jun	Via e-mail ou presencial.	A estimar	A fazer
Pedido da Proposta	Avaliar a proposta mais vantajosa para a organização	Setor Administrativo / Escritório Empresa Contratada	Analista	até 24/jun	Via e-mail ou presencial.	A estimar	A fazer
Implementação e monitoramento	Avaliar as melhorias na interação após solução implementada.	Setor administrativo/ Coordenação	Analista / Coordenadores e Gestores	04/mar - 10/jul	Registrar dados, gerar relatórios, verificar aderência e aprimoramentos.	A estimar	A fazer

Fonte: Autores, 2024.

- Requisitos de Qualificação Técnica: A Supera Engenharia busca aprimorar a qualificação técnica de suas empresas parceiras, especialmente para contratações relacionadas ao BIM, adotando critérios mais rigorosos do que os de entidades públicas.

A qualificação será dividida em dois níveis:

- Qualificação técnico-operacional: Avaliação da capacidade geral da empresa (estrutura, equipes, recursos).
- Qualificação técnico-profissional: Verificação das competências dos profissionais-chave do projeto.

Esses critérios seguem [16][17], focando em processos, pessoas, procedimentos e infraestrutura, pilares do BIM. O plano de ação tático, apresentado no Quadro 4, visa assegurar que as empresas parceiras estejam preparadas para as demandas do BIM.

Quadro 4: Plano de ação para implementação dos requisitos de qualificação técnica.

PLANO DE AÇÃO 5W2H - TÁTICO

AÇÃO: Proposição de Requisitos de Qualificação Técnica
PRAZO PREVISTO: de 10/jan à 21/jun **DATA REALIZADA:** A concluir
RESPONSÁVEL: Setor Administrativo / Empresa Contratada
OBJETIVO: Melhorar a qualidade dos projetos e aumentar o nível de maturidade em BIM da empresa

5W					2H		Status
O quê?	Porque?	Onde?	Quem	Quando	Como?	Quanto custa?	
Levantar requisitos de qualificação técnico-operacional da empresa a ser contrtada	Necessário especificar a capacidade da empresa, referindo-se a aspectos típicos da estrutura organizacional da empresa licitante, como instalações, equipamentos e equipe.	Setor administrativo/ Coordenação	Coordenadores e Gestores	até 15/fev	Pesquisar com os outros encarregados e chefia, normativos e leis	A estimar	Concluído
Levantar requisitos de qualificação técnico-profissional da empresa a ser contrtada	Necessário especificar a capacidade da empresa, referindo-se ao profissional que atua naquela empresa, referenciando especificamente o profissional detentor do respectivo atestado técnico.	Setor administrativo/ Coordenação	Coordenadores e Gestores	até 01/mar	Pesquisar com os outros encarregados e chefia, normativos e leis	A estimar	Em andamemto
Fornecer informações necessárias para comprovar a qualificação	Ter clareza na comunicação e facilitar o acesso as informações necessárias para o fornecimento de certidões e atestados de qualificação por parte da contratada.	Setor administrativo/Escritório Empresa Contratada	Analista	até 10/mai	Via e-mail ou presencial.	A estimar	A fazer
Avaliação da qualificação (Técnico-operacional e Técnico-profissional); E seleção das empresas Qualificadas	Necessário analisar a documentação que ateste a competência da empresa tanto em termos operacionais quanto profissionais (processos, procedimentos, pessoas e infraestrutura), e com base nessa avaliação, proceder à seleção das empresas habilitadas para a execução do projeto BIM especificado.	Setor Administrativo / Setor financeiro	Analista/ Coordenadores e Gestores	até 07/jun	Avaliação dos critérios estabelecidos e seleção das empresas aderentes	A estimar	A fazer
Implementação e monitoramento	Avaliar as melhorias na interação após solução implementada.	Setor administrativo/ Coordenação	Analista / Coordenadores e Gestores	10/jan - 21/jun	Registrar dados, gerar relatórios, verificar aderência e aprimoramentos.	A estimar	A fazer

Fonte: Autores, 2024.

- Análise de propostas: A empresa utilizará dois métodos de avaliação:
    - Critério de Preço (Proposta Comercial + Pós-BEP):A proposta comercial será avaliada apenas pelo preço. Após a contratação, a empresa selecionada deve apresentar um Plano de Execução BIM (Pós-BEP), que detalhará a execução conforme os requisitos BIM, com verificação posterior da capacidade de entrega.
    - Critério de Técnica e Preço (Proposta Comercial + Pré-BEP + Pós-BEP): A proposta inclui a apresentação de um Pré-BEP e a avaliação levará em conta pesos específicos para técnica e preço. O Pré-BEP oferece um planejamento inicial, enquanto o Pós-BEP fornece detalhes das atividades após a seleção.

Esses métodos garantem uma escolha criteriosa das empresas contratadas, assegurando a melhor proposta técnica e financeira, conforme o plano de ação no Quadro 5.

Quadro 5: Plano de ação para análise das propostas.

PLANO DE AÇÃO 5W2H - TÁTICO

AÇÃO: Modelo para análise das propostas
PRAZO PREVISTO: de 12/ago à 20/dez — **DATA REALIZADA:** A concluir
RESPONSÁVEL: Setor Administrativo / Empresa Contratada
OBJETIVO: Melhorar a qualidade dos projetos e aumentar o nível de maturidade em BIM da empresa

5W					2H		Status
O quê?	Porque?	Onde?	Quem	Quando	Como?	Quanto custa?	
Receber a Proposta Comercial	Necessário receber as propostas das empresas para avaliar a mais vantajosa	Setor administrativo/Escritório Empresa Contratada	Analista/ Coordenadores e Gestores	até 16/set	Via e-mail ou presencial.	A estimar	A fazer
Receber o Pré-BEP do projeto a ser executado	Documentar as estratégias de trabalho em e suas respectivas metas, que são definidas por equipes, fases e etapas. É necessário definir os papéis ativos e quem irá realizá-los.	Setor administrativo/Escritório Empresa Contratada	Analista/ Coordenadores e Gestores	até 16/set	Via e-mail ou presencial.	A estimar	A fazer
Seleção da Proposta mais vantajosa	Necessário avaliar a empresa que melhor atenda às exigências da contratante, considerando duas opções de avaliação. Uma delas se baseia exclusivamente na proposta comercial como critério, enquanto a outra incorpora tanto a proposta comercial quanto o Pré-BEP.	Setor Administrativo / Setor financeiro	Analista	até 14/out	Avaliação dos critérios estabelecidos e seleção das propostas aderentes	A estimar	A fazer
Receber o Pós-BEP do projeto a ser executado	Deve incluir diretrizes de como serão feitos os compartilhamentos e trocas de informações, processos colaborativos, requisitos de armazenamento de dados, infraestrutura necessária e procedimentos para controle de qualidade, bem como suas respectivas metas, que são definidas por equipes, fases e etapas. Documento detalhado do plano de execução BIM por parte da contratada.	Setor administrativo/Escritório Empresa Contratada	Analista/ Coordenadores e Gestores	até 25/nov	Via e-mail ou presencial.	A estimar	A fazer
Implementação e monitoramento	Avaliar as melhorias na interação após solução implementada.	Setor administrativo/ Coordenação	Analista / Gestor / Produção	12/ago - 20/dez	Registrar dados, gerar relatórios, verificar aderência e aprimoramentos.	A estimar	A fazer

Fonte: Autores, 2024.

Ambos os modelos propostos para a análise de propostas na seleção de empresas demonstram boa adequação ao atual processo interno da empresa. No entanto, cabe à empresa escolher qual dos dois métodos deseja adotar. Esta escolha fica evidente no Plano de Ação proposto no Quadro 5 acima.

Plano de Ação a Nível Operacional:

O Planejamento Operacional abrange planos de curto prazo (3 a 6 meses) que definem métodos, processos e sistemas para atingir metas organizacionais, como a troca de informações entre contratantes e a qualificação técnica das empresas. Esse planejamento responde ao “o que fazer” e “como fazer” nas operações diárias, destacando a necessidade de competências para projetos com usos BIM específicos. Um Plano de Ação foi criado com cronograma de atividades para a implementação dos Usos BIM, cujos principais focos são:

a) Aprimoramentos na Modelagem: Desenvolver modelos conforme os requisitos do BIM Mandate e BEP, com capacitação e investimento em infraestrutura para a equipe de modelagem (Quadro 6).

Quadro 6: Plano de ação para aprimoramentos na modelagem.

PLANO DE AÇÃO 5W2H - OPERACIONAL

AÇÃO: Aprimoramentos na modelagem dos projetos.
PRAZO PREVISTO: de 04/jun à 9/ago **DATA REALIZADA:** A concluir
RESPONSÁVEL: Setor Administrativo / Empresa Contratada
OBJETIVO: Melhorar a qualidade dos projetos e aumentar o nível de maturidade em BIM da empresa

5W					2H		Status
O quê?	Porque?	Onde?	Quem	Quando	Como?	Quanto custa?	
Definição dos requsitos de informação do moldeo	Necessário especificar precisamente quais informações devem ser adicionadas ao modelo de acordo com a sua utilização.	Setor administrativo/ Coordenação	Coordenadores e Gestores	até 17/jun	Pesquisar com os outros encarregados e chefia, normativos e leis	A estimar	A fazer
Definição do Nível de desenvolvimento do modelo	Necessário especificar, que nível de informações é preciso ter em cada etapa e determinar um nível de confiabilidade para esses dados, como a quantidade e qualidade das informações geométricas e não geométricas associadas a um objeto ou elemento no modelo.	Setor administrativo/ Coordenação	Coordenadores e Gestores	até 24/jun	Pesquisar com os outros encarregados e chefia, normativos e leis	A estimar	A fazer
Criação do modelos BIM	Representar digital e tridimensionalmente as características físicas e funcionais de um edifício, contendo todas as informações necessárias para a execução, implantação, manutenção e gerenciamento de um projeto de forma integrada e organizada.	Setor de projetos e modelos BIM/Escritório Empresa Contratada	Projetistas e modeladores BIM	até 22/jul	Utilização de equipes, processos, procedimentos e infraestrutura física e tecnológica	A estimar	A fazer
Validação dos Modelos	Avaliar se o modelo contém as informações necessárias para o fim desejado.	Setor de projetos e modelos BIM/Coordenação/ Escritório Empresa Contratada	Analista/Projetistas e modeladores BIM	até 05/ago	Utilização de equipes, processos, procedimentos e infraestrutura física e tecnológica	A estimar	A fazer
Implementação e monitoramento	Avaliar as melhorias na interação após solução implementada.	Setor administrativo/ Coordenação	Analista / Coordenadores e Gestores	17/jun - 09/ago	Registrar dados, gerar relatórios, verificar aderência e aprimoramentos.	A estimar	A fazer

Fonte: Autores, 2024.

b) Análise de Interferências: Harmonizar projetos através de análise de interferências estáticas e dinâmicas, com apoio da equipe de modelagem, exigindo investimentos em pessoal e tecnologia (Quadro 7).

Quadro 7: Plano de ação para análise de Interferências.

PLANO DE AÇÃO 5W2H - OPERACIONAL

AÇÃO: Análise de interferências estáticas e dinâmicas.
PRAZO PREVISTO: de 05/ago à 02/set **DATA REALIZADA:** A concluir
RESPONSÁVEL: Setor Administrativo / Empresa Contratada
OBJETIVO: Melhorar a qualidade dos projetos e aumentar o nível de maturidade em BIM da empresa

5W					2H		Status
O quê?	Porque?	Onde?	Quem	Quando	Como?	Quanto custa?	
Realizar verificação de interferências estáticas e dinâmicas por disciplina de projeto individualmente	Harmonizar os projetos mediante a análise de interferências dentro das disciplinas específicas do Projeto, avaliando o caráter estático quando trata de incompatibilidades internas no projeto, ou dinâmico, quando relacionado ao uso e à manutenção do ativo.	Setor de projetos e modelos BIM/Escritório Empresa Contratada	Analista/Projetistas e modeladores BIM	até 12/ago	Utilização de equipes, processos, procedimentos e infraestrutura física e tecnológica	A estimar	A fazer
Realizar verificação de interferências estáticas e dinâmicas entre disciplinas do projeto	Harmonizar os projetos mediante a análise de interferências entre as disciplinas do Projeto, avaliando o caráter estático quando trata de incompatibilidades internas no projeto, ou dinâmico, quando relacionado ao uso e à manutenção do ativo.	Setor de projetos e modelos BIM/Escritório Empresa Contratada	Analista/Projetistas e modeladores BIM	até 19/ago	Utilização de equipes, processos, procedimentos e infraestrutura física e tecnológica	A estimar	A fazer
Comunicar aos responsáveis as interferâncias encontradas	Ter clareza na comunicação e facilitar o acesso as informações necessárias para os responsáveis do projeto.	Setor de projetos e modelos BIM/Coordenação/ Escritório Empresa Contratada	Coordenadores/ Projetistas e modeladores BIM	até 23/ago	Ambiente colaborativo/ Ambiente comum de dados/ E-mail.	A estimar	A fazer
Corrigir as Interferências	Necessário harminizar e compatibilizar os projetos quanto as interferências estáticas e dinâmicas	Coordenação/Escritório Empresa Contratada	Projetistas e modeladores BIM	até 30/ago	Utilização de equipes, processos, procedimentos e infraestrutura física e tecnológica	A estimar	A fazer
Implementação e monitoramento	Avaliar as melhorias na interação após solução implementada.	Setor administrativo/ Coordenação	Analista / Coordenadores e Gestores	05/ago - 02/set	Registrar dados, gerar relatórios, verificar aderência e aprimoramentos.	A estimar	A fazer

Fonte: Autores, 2024.

c) Implementação de Modelo Federado: Integrar todas as partes no modelo federado para facilitar o compartilhamento de informações e controle de interferências, com investimentos nos quatro pilares do BIM: Pessoas, Processos, Procedimentos e Infraestrutura (Quadro 8).

Quadro 8: Plano de ação para Implementação de Modelo Federado.

PLANO DE AÇÃO 5W2H - OPERACIONAL

AÇÃO: Implementação de modelo federado.
PRAZO PREVISTO: de 30/ago à 04/out **DATA REALIZADA:** A concluir
RESPONSÁVEL: Setor Administrativo / Empresa Contratada
OBJETIVO: Melhorar a qualidade dos projetos e aumentar o nível de maturidade em BIM da empresa

5W					2H		Status
O quê?	Porque?	Onde?	Quem	Quando	Como?	Quanto custa?	
Receber projetos e modelo federado de todas as disciplinas do projeto em ambiente comum de dados	Necessário receber todos os projetos das empresas contratadas em ambiente colaborativo de dados	Setor de projetos e modelos BIM/Coordenação/Escritório Empresa Contratada	Analista/Coordenadores/Projetistas e modeladores BIM	até 09/set	Ambiente colaborativo/ Ambiente comum de dados	A estimar	A fazer
Compartilhar informações e a coordenação das disciplinas do projeto	Necessário compartilhar e facilitar o acesso as informações necessárias para os responsáveis do projeto.	Setor de projetos e modelos BIM/Coordenação/Escritório Empresa Contratada	Coordenadores/ Projetistas e modeladores BIM	até 13/set	Ambiente colaborativo/ Ambiente comum de dados	A estimar	A fazer
Compilar e avaliar o modelo federado com as informações do projeto	Necessário centralizar as informações dos modelos de todas as disciplinas que compõem um projeto, sendo desta forma o principal elemento de percepção do projeto colaborativo em BIM. E verificar se as informaçãoes do modelo respeitam os requisitos de informação e de projeto.	Setor de projetos e modelos BIM/Coordenação/Escritório Empresa Contratada	Analista/Coordenadores/Projetistas e modeladores BIM	até 25/set	Avaliação dos critérios e informações estabelecidos pela contratada e Utilização de equipes, processos, procedimentos e infraestrutura física e tecnológica	A estimar	A fazer
Compartilhar modelo entre as equipes para utilização de acordo com a finalidade	Aplicar o trabalho colaborativo entre as diversas especialidades envolvidas em todo o processo, do início ao fim.	Setor de projetos e modelos BIM/Coordenação/Setores operacionais de projeto e execução da obra	Coordenadores/ Projetistas e modeladores BIM	até 03/out	Ambiente colaborativo/ Ambiente comum de dados	A estimar	A fazer
Implementação e monitoramento	Avaliar as melhorias na interação após solução implementada.	Setor administrativo/ Coordenação	Analista / Coordenadores e Gestores	30/ago - 04/out	Registrar dados, gerar relatórios, verificar aderência e aprimoramentos.	A estimar	A fazer

Fonte: Autores, 2024.

d) Extração de Quantitativos para Orçamentação: Estabelecer fases e detalhamentos para extração de quantitativos, essenciais para orçamento e planejamento, com participação das equipes de modelagem e orçamentação (Quadro 9).

Quadro 9: Plano de ação para Extração de quantitativos e orçamentação.

PLANO DE AÇÃO 5W2H - OPERACIONAL

AÇÃO: Extração de quantitativos para orçamentação.
PRAZO PREVISTO: de 16/set à 25/nov **DATA REALIZADA:** 22/fev
RESPONSÁVEL: Setor Administrativo / Empresa Contratada
OBJETIVO: Melhorar a qualidade dos projetos e aumentar o nível de maturidade em BIM da empresa

5W					2H		Status
O quê?	Porque?	Onde?	Quem	Quando	Como?	Quanto custa?	
Definir requisitos de informação para os elementos do projeto	Necessário especificar precisamente quais informações devem ser adicionadas e entregues em cada troca de informações entre contratante e contratada.	Setor administrativo/ Coordenação	Coordenadores e Gestores	até 23/set	Pesquisar com os outros encarregados e chefia, normativos e leis	A estimar	A fazer
Verificar compatibilidade do nível de desenvolvimentos e informação do modelo	Necessário avaliar se as informações do modelo atendem aos requisitos estabelecidos e o nível desenvolvimento do projeto pré estabelecido (informações sobre materiais, sistemas, componentes e outras)	Setor de projetos e modelos BIM/Coordenação/ Escritório Empresa Contratada	Analista/Coordenadores/Projetistas e modeladores BIM	até 14/out	Avaliação dos critérios e informações estabelecidos pela contratada e Utilização de equipes, processos, procedimentos e infraestrutura física e tecnológica	A estimar	A fazer
Extrair quantitativos	Determinar a quantidade de cada um dos serviços do projeto, tendo como objetivo dar informações para a preparação do orçamento (Processos e procedimentos).	Setor de projetos e modelos BIM/Setor de orçamentação e planejamento/ Coordenação/ Escritório Empresa Contratada	Projetistas e modeladores BIM/Orçamentistas	até 04/nov	Utilização de equipes, processos, procedimentos e infraestrutura física e tecnológica	A estimar	A fazer
Utilizar quantitativos para orçamentação	Relacionar o cronograma aos elementos do modelo (BIM 4D), incluindo na somatória todos os elementos que acarretam em custos, podendo ser eles, mão de obra, equipamentos e insumos, e claramente os materiais utilizados e o custo unitário de cada um desses itens, para orçamentação da obra.	Setor de orçamentação e planejamento/ Coordenação	Orçamentistas e planejadores	até 22/nov	Utilização de equipes, processos, procedimentos e infraestrutura física e tecnológica	A estimar	A fazer
Implementação e monitoramento	Avaliar as melhorias na interação após solução implementada.	Setor administrativo/ Coordenação	Analista / Coordenadores e Gestores	16/set - 25/nov	Registrar dados, gerar relatórios, verificar aderência e aprimoramentos.	A estimar	A fazer

Fonte: Autores, 2024.

e) Estabelecimento de Padrões e Critérios de Aceitação: Adotar padrões para assegurar a aceitação dos projetos conforme os requisitos do BEP, criando checklists baseados nas expectativas da contratante, com envolvimento de coordenadores e equipes (Quadro 10).

Quadro 10: Plano de ação para estabelecimento de Padrões e Critérios de Aceitação.

PLANO DE AÇÃO 5W2H - OPERACIONAL

AÇÃO: Estabelecimento de padrões e critérios de aceitação de projetos em BIM.
PRAZO PREVISTO: de 06/mai à 30/ago **DATA REALIZADA:** 22/fev
RESPONSÁVEL: Setor Administrativo / Empresa Contratada
OBJETIVO: Melhorar a qualidade dos projetos e aumentar o nível de maturidade em BIM da empresa

5W					2H		Status
O quê?	Porque?	Onde?	Quem	Quando	Como?	Quanto custa?	
Levantar critérios para aceitação dos projetos compatíveis com sua finalidade	É essencial adotar padrões para assegurar a aceitação do projeto de acordo com os requisitos estipulados no PEB.	Setor administrativo/ Coordenação	Coordenadores/ Gestores/Projetistas e modeladores BIM	até 17/mai	Pesquisar com os outros encarregados e chefia, normativos e leis	A estimar	A fazer
Comunicar os cretérios e requisitos de aceitação entre contratante e contratada em ambiente colaborativo	Ter clareza na comunicação e facilitar o acesso as informações necessárias para a elaboração do projeto pela contratada, de acordo com a finalidade estabelecida.	Setor administrativo/ Coordenação/ Escritório Empresa Contratada	Coordenadores/ Projetistas e modeladores BIM	até 04/jun	Ambiente colaborativo/ Ambiente comum de dados/ E-mail	A estimar	A fazer
Receber os Projetos e avaliar os critérios e padrões de aceitação	Necessário avaliar se a padronização abrange o nível de desenvolvimento do modelo, a finalidade BIM desejada e os requisitos para a troca de informações estão alinhados com as expectativas da contratante em relação ao projeto.	Setor de projetos e modelos BIM/Coordenação/Escritório Empresa Contratada	Analista/Coordenadores/ Projetistas e modeladores BIM	até 05/ago	Ambiente colaborativo/ Ambiente comum de dados/ E-mail	A estimar	A fazer
Comunicar aceitação ou correções necessárias em ambiente colaborativo	Necessário dar ciência sobre aceitação ou correções que se façam necessárias para atender os creitérios definidos pela contratante, de forma colaborativa entre as equipes.	Setor de projetos e modelos BIM/Coordenação/Escritório Empresa Contratada	Analista/Coordenadores/ Projetistas e modeladores BIM	até 30/ago	Ambiente colaborativo/ Ambiente comum de dados/ E-mail	A estimar	A fazer
Implementação e monitoramento	Avaliar as melhorias na interação após solução implementada.	Setor administrativo/ Coordenação	Analista / Coordenadores e Gestores	06/mai - 30/ago	Registrar dados, gerar relatórios, verificar aderência e aprimoramentos.	A estimar	A fazer

Fonte: Autores, 2024.

A adoção de padrões é essencial para a aceitação dos projetos conforme os requisitos do Plano de Execução BIM (BEP) e os procedimentos de colaboração. Isso envolve considerar o nível de desenvolvimento do modelo, a finalidade do BIM e as expectativas da contratante, com checklists de critérios de aceitação para diferentes tipos de projetos. A implementação operacional segue etapas essenciais: definição dos Usos BIM, atendimento aos quatro pilares BIM (Pessoas, Processos, Procedimentos e Infraestrutura), proposta e teste de soluções em projetos piloto, e disseminação do conhecimento. O sucesso depende do investimento nos pilares, incluindo qualificação da equipe, redesenho de processos internos, estruturação das atividades e investimento em tecnologia e infraestrutura.

CONCLUSÃO

O estudo destaca que a implementação do BIM pode tornar a Supera Engenharia uma referência em inovação e produtividade no setor de construção. Apesar de contar com uma infraestrutura tecnológica sólida, a empresa enfrenta desafios em capacitação dos colaboradores e padronização dos processos para a adoção do BIM. O plano de ação proposto visa integrar o BIM às práticas atuais, exigindo novos conhecimentos e transformando processos existentes.

O diagnóstico estratégico identificou uma demanda de mercado por projetos em BIM, o que representa uma oportunidade a ser aproveitada. As metas incluem a contratação de serviços terceirizados, o aumento da maturidade BIM e a definição de usos BIM para projetos internos. Além disso, o plano aborda fraquezas e ameaças, como a falta de planejamento estratégico, por meio de ações táticas e estratégicas.

Os pontos críticos revelados no diagnóstico BIM são processos, pessoal e gestão da informação. O plano de ação se concentra na melhoria desses aspectos, estruturando processos de contratação e definindo requisitos de informação. Portanto, o plano se apresenta como uma solução viável para a implementação do BIM, necessitando de ajustes contínuos por meio de aprendizado.

REFERÊNCIAS

[1] COUTINHO, Luciano. A terceira revolução industrial e tecnológica. As grandes tendências das mudanças. Economia e Sociedade, Campinas, SP, v. 1, n. 1, p. 69–87, 2016. Disponível em: https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/ecos/article/view/8643306. Acesso em: 23 maio. 2023.

[2] McAULEY, B.; HORE, A.; WEST, R. *BICP Global BIM study: Lessons for Ireland's BIM programme*. Dublin: *Construction IT Alliance Limited*, 2017.

[3] CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Implementação BIM - Parte 2: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras/ Câmara Brasileira da Indústria da Construção. - Brasília: CBIC, 2016.

[4] CARMONA, F. V. F.; CARVALHO, M. T. M. Caracterização da utilização do BIM no Distrito Federal. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 385-401, out./dez. 2017.

[5] SUCCAR, Bilal. *Building Information Modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction*, v. 18, n.3, p. 357-375, 2009a.

[6] McGRAW HILL CONSTRUCTION. *The business value of BIM for construction in major global markets: how constractors around the world are driving innovation with the Building Information Modeling. Bedford: McGraw Hill Constructions*, 2014.

[7] SILVEIRA, Henrique. SWOT. IN: Inteligência Organizacional e Competitiva. Org. Kira Tarapanoff. Brasília. Ed. UNB, 2001.

[8] BARBOSA, E. R. e BRONDANI, G. Planejamento estratégico organizacional. In: Revista Eletrônica de Contabilidade. Volume I, nº 2, dez/2004 – fev/2005.

[9] ISISE SMCT. Avaliação de maturidade BIM ao nível organizacional - Projeto DigitalSteel. Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Estruturas de Engenharia. Associação para o Desenvolvimento da Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, dezembro 2021.

[10] OLIVEIRA, M. F. Roteiro para implementação BIM (Building Information Modeling) com foco em modelos de maturidade. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2022.

[11] PINI. Uso do *Building Information Modeling* (2013). Disponível em: http://www.piniweb.com.br/construcao/carreira-exercicio-profissional-entidades/pesquisa[1]mostra-que-mais-de-90-dos-arquitetos-e-engenheiros-291885-1.asp. Acesso em: 24 jan. 2024.

[12] NBS_BIM. *NBS' 10th National BIM Report*, 2020. Disponível em: https://www.thenbs.com/knowledge/national-bim-report-2020. Acesso em: 20 jan. 2024.

[13] ANDRADE, Maria M. de. Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos na graduação. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

[14] MARTINS, Roberto A. Princípios da Pesquisa Científica. In: Paulo Augusto Cauchick Miguel. (Org.). Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 1ed.Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2010.

[15] COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM (CIC). *BIM Planning Guide for Facility Owners. Version 2.0, June, The Pennsylvania State University*, University Park, PA, USA, 2013.

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 19650-1: Organização da informação da construção - Gestão da informação usando modelagem da informação da construção – Parte 1: Conceitos e princípios. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 19650-2: Organização da informação da construção - Gestão da informação usando modelagem da informação da construção – Parte 2: Fase de entrega de ativos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Qualidade para adoção do BIM no setor público: estudo de caso em escritórios universitários

Quality for adopting BIM in the public sector: case study in university offices

Raíssa Bezerra de Almeida Cruz | Universidade Federal do Rio de Janeiro | raissa.cruz@fau.ufrj.br
Mônica Santos Salgado | Universidade Federal do Rio de Janeiro | monicassalgado@fau.ufrj.br

DOI: 10.5281/zenodo.14476543

Resumo

O estímulo mundial à adoção do BIM tem crescido no século XXI, com destaque no Brasil, para a aprovação de Decretos incentivando sua adoção. Os esforços foram fortalecidos pela publicação da Lei nº 14.133/2021, que define para as obras públicas, a prioridade às contratações com o uso do BIM. O objetivo do legislador com essa medida é aproveitar o poder de compra do Estado para promover o avanço da utilização do BIM no país. No entanto, apesar do entusiasmo provocado pelo BIM no Brasil e no mundo, a prática profissional tem demonstrado que a utilização das tecnologias que apoiam a metodologia BIM desassociadas de práticas de gestão da qualidade compromete o alcance dos benefícios que o BIM é capaz de proporcionar. A publicação da série NBR ISO 19650 contribui para solucionar esse problema ao trazer recomendações que destacam a importância de contratante e contratado planejarem e maneira colaborativa o ato de projeto. A própria norma destaca que apesar da certificação NBR ISO 9001 não ser um requisito, a série NBR ISO 19650 pode se beneficiar de uma abordagem sistemática da qualidade na organização. No Brasil, os problemas de gestão da qualidade nas contratações públicas de obras e serviços de arquitetura e engenharia são amplamente conhecidos, com destaque para a segmentação do processo de projeto e restrição na comunicação entre as partes interessadas durante o planejamento da contratação, que resultam em falhas nas tomadas de decisões projetuais. Diante do exposto, este artigo apresenta os resultados de uma dissertação de mestrado que levantou a questão de como as instituições públicas nacionais podem realizar uma adoção com qualidade do BIM em suas contratações de obras e serviços de arquitetura e engenharia, e objetivou apresentar alternativas para as contratações públicas em BIM a partir do estudo de caso no escritório técnico de três Universidades Federais. A metodologia empregada partiu de uma análise minuciosa do fluxo o processo de contratação imposto pela Lei nº 14.133/2021 e das recomendações trazidas pela NBR ISO 19650/2022. Em seguida realizou-se uma pesquisa documental que levantou como o fluxo genérico extraído da Lei nº 14.133/2021 é adaptado ao processo de projeto para contratação realizado pelos escritórios técnicos das Universidades analisadas. Os resultados demonstram que, para atingir as metas legais, as instituições públicas precisam focar em garantir a qualidade do material da contratação, através da definição minuciosa dos requisitos do modelo BIM a ser contratado, bem como controlar a qualidade do produto recebido, através de rotinas bem definidas de auditoria dos modelos produzidos e entregues pela empresa contratada. Além disso, o organograma das instituições precisa ser analisado de forma a permitir a realização do trabalho colaborativo antes, durante e depois dos processos licitatórios, de forma a explorar ao máximo o potencial oferecido pelo BIM.

Palavras-chave: BIM. Gestão de qualidade. Processo de projeto. Contratações públicas.

Abstract

The global push for Building Information Modeling (BIM) adoption has intensified in the 21st century. In Brazil, this movement is supported by decrees and Law No. 14,133/2021, which prioritizes BIM in public works contracts. This legislation aims to leverage the state's purchasing power to advance BIM adoption nationally. Despite this momentum, professional practice reveals that adopting BIM technologies without integrating quality management practices undermines their benefits. The NBR ISO 19650 series addresses this by emphasizing collaborative planning between clients and contractors. While NBR ISO 9001 certification is not mandatory, the systematic quality management it promotes enhances the implementation of NBR ISO 19650. In Brazil, public procurement of architectural and engineering services faces well-documented challenges, such as fragmented design processes and limited stakeholder communication, which hinder decision-making. This study, based on a master's dissertation, examines how public institutions can adopt BIM effectively in their procurement processes. A case study of three Federal Universities' technical offices identifies alternatives for integrating BIM into public contracts. The methodology involved analyzing the procurement flow under Law No. 14,133/2021 and the NBR ISO 19650/2022 recommendations. A documentary analysis explored how this flow is adapted to design processes in the universities studied. Results show that achieving compliance requires public institutions to define BIM model requirements rigorously and ensure output quality through structured audits. Additionally, organizational structures must support collaborative workflows throughout the procurement process to fully realize BIM's potential.

Keywords: Building Information Modeling (BIM). ISO 19650/2022. Procurement Process.

INTRODUÇÃO

A segmentação do processo licitatório no setor público brasileiro prejudica a comunicação entre fases de projeto e obra, comprometendo a eficiência e gerando problemas como falta de compatibilização de projetos e duração irrealista de contratos [1, 2].

Diante desse contexto, o Governo Federal tem incentivado a adoção da metodologia BIM, especialmente após a Nova Lei de Licitações de 2021 [3], que prioriza sua utilização em contratações públicas de obras e serviços de engenharia.

Diante do exposto, este artigo propõe uma estratégia de adoção do BIM em instituições públicas, analisando processos de contratação de projetos de arquitetura e engenharia em três universidades do Rio de Janeiro. Este trabalho foi extraído da dissertação de mestrado defendida sobre o tema [4].

REFERENCIAL TEÓRICO

O processo de projeto desenvolvido por instituições públicas é influenciado pela modalidade de licitação e pelo regime de execução adotados que, em geral, separam as contratações de projeto e execução. Porém, ao introduzir o Diálogo Competitivo, [3] possibilita aumentar a colaboração e integração no processo licitatório, ao possibilitar uma comunicação mais próxima entre a instituição e os licitantes antes da formalização do contrato [5].

Para aumentar a integração nas contratações públicas, [6] enfatizam a importância de definir requisitos de qualidade no planejamento, incluindo dados essenciais para execução e comissionamento. Destacam também o monitoramento e controle como essenciais para avaliar desempenho, gerenciar mudanças, custos, riscos, conflitos e comunicações, garantindo a qualidade do projeto.

A estruturação de requisitos facilita o controle e assegura que o projeto atenda às necessidades do cliente dentro dos parâmetros de qualidade definidos. Por isso, os autores ressaltam a importância de hierarquizar e organizar requisitos para melhor gestão da qualidade [7, 8, 9].

Nos estudos sobre BIM, [10] destacam a importância de definir requisitos para a qualidade do projeto. O desafio da adoção do BIM, antes focado no modelo, agora envolve revisar processos, exigindo mudanças no desenvolvimento de projetos alinhadas aos objetivos estratégicos da instituição [11, 12].

No processo BIM, para assegurar a qualidade da modelagem ao longo do ciclo de vida da construção, é essencial definir requisitos de informação desde a contratação, focando na troca de dados em formato IFC (*Industry Foundation Classes*) [10]. A qualidade do modelo deve ser controlada por meio da verificação de estrutura e conteúdo, detecção de conflitos e aplicação automática de códigos. A coordenação de problemas deve ocorrer preferencialmente em formato BCF (*BIM Collaboration Format*) [11, 12].

Recomenda-se registrar os procedimentos de garantia e controle de qualidade de projetos BIM por meio do Plano de Execução BIM (BEP – *BIM Execution Plan*), que alinha as partes interessadas nos objetivos, limitações, responsabilidades e procedimentos do projeto [12-15]. Embora importante, o BEP não é mencionado em alguns regulamentos nacionais, como [16], gerando dúvidas sobre a responsabilidade de sua autoria. [17] atribui essa responsabilidade à empresa contratada, em fases pré e pós-contratuais. Em contratações públicas, é essencial que a instituição contratante defina os itens básicos do BEP (pré-BEP) para subsidiar a verificação de propostas e entregáveis [15].

Diante do exposto, observa-se que nos processos de contratação pública, é comum usar metodologias faseadas que exigem gestão integrada para garantir qualidade. Contudo, problemas como desalinhamento técnico-legal, falta de integração entre planejamento e execução, gestão fraca e foco excessivo no preço persistem. Para solucioná-los, sugere-se aprimorar a definição de requisitos, padronizar entregáveis e melhorar a comunicação entre as partes. O uso do BIM, aliado a essas melhorias, é essencial, recomendando-se incluir o Plano de Execução BIM (BEP) nos editais para otimizar gestão de informações e fiscalização contratual.

METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa foi baseada em estudos de caso qualitativos em três universidades públicas do Rio de Janeiro e dividida em cinco etapas:

i. Pesquisa bibliográfica sobre gestão da qualidade no processo de projeto e metodologia BIM;
ii. Estudo da Lei nº 14.133/2021 para mapear o processo licitatório em contratações públicas de obras e serviços de engenharia;
iii. Pesquisa documental nos escritórios técnicos das universidades para mapear o processo de projeto, analisando os documentos do Quadro 1.

Quadro 1: Documentos dos escritórios técnicos levantados e analisados na pesquisa documental.

Documentos Analisados	**ET-1**	**ET-2**	**ET-3**
Estatuto da Universidade	X	X	X
Regimento do Escritório Técnico	X	X	X
Mapa de cargos e Funções	X	X	X
Relatórios Anuais de Gestão	X	X	X
Organogramas da Universidade e do Escritório Técnico	X	X	X
Fluxos de processos mapeados	-	X	X
Processos de contratações anteriores	X	X	X

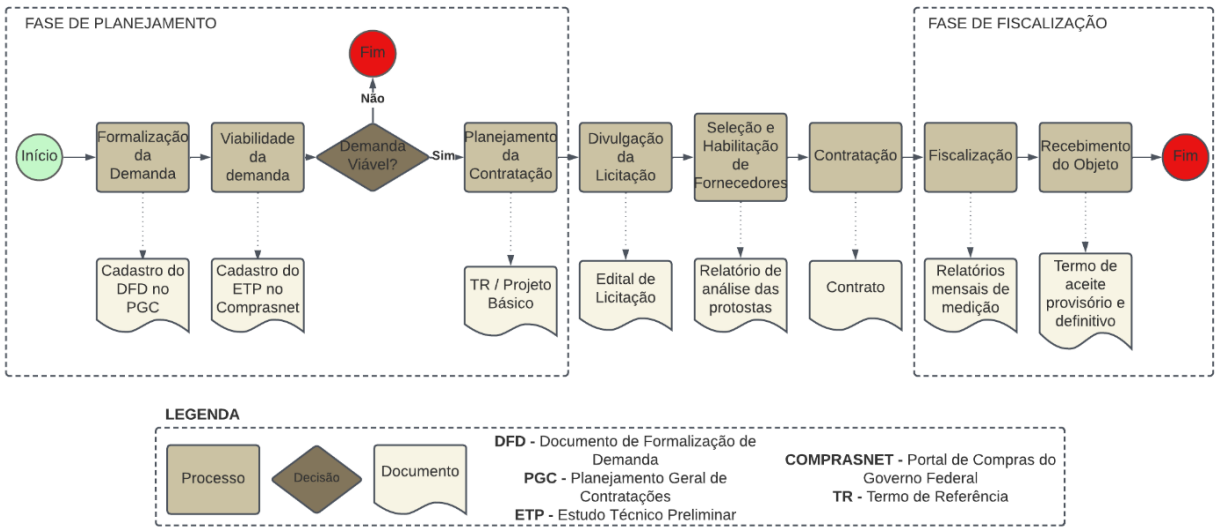
Fonte: as autoras.

iv. Análise dos dados da pesquisa documental à luz da teoria da pesquisa bibliográfica;
v. Revisão do processo de projeto com base nas recomendações da ABNT NBR ISO 19650-2:2022 para subsidiar a proposição das diretrizes.

RESULTADOS

A análise da Lei 14.133 produziu o fluxo do processo licitatório (Figura 1) no qual destacou-se a fase preparatório, com destaque para os processos de formalização, viabilidade da demanda e planejamento da contratação, cujos principais entregáveis são o documento de formalização da demanda, o ETP e o material técnico da contratação, sendo este último composto pelo projeto básico e o termo de referência.

Figura 1: Macrofluxo do rito processual de contratações públicas previsto pela Lei nº 14.133/2021.

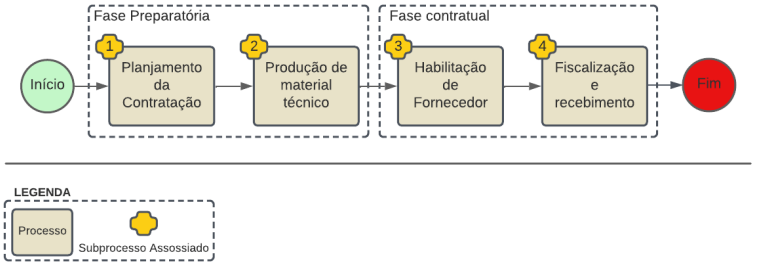


Nota: as autoras.

Além disso destaca-se também a fase de fiscalização do objeto contratado. Os principais produtos da fiscalização são os relatórios de medição emitidos mensalmente, que refletem os estágios de desenvolvimento do objeto, e o recebimento do objeto, cuja conformidade entre o que foi recebido e contratado é atestada pela emissão dos termos de aceite provisório e definitivo.

A partir do estudo aprofundado de [3], foi possível entender que, conforme apresentado na Figura 2, o processo de projeto médio desenvolvido pelos escritórios estudados envolve etapas de planejamento da contratação e de produção do material técnico, durante a fase preparatória do processo licitatório, e processos de habilitação de fornecedores e fiscalização e recebimento do objeto, durante a fase de contratação.

Figura 2: Macrofluxo médio do processo de projeto desenvolvidos para contratações públicas pelos escritórios estudados



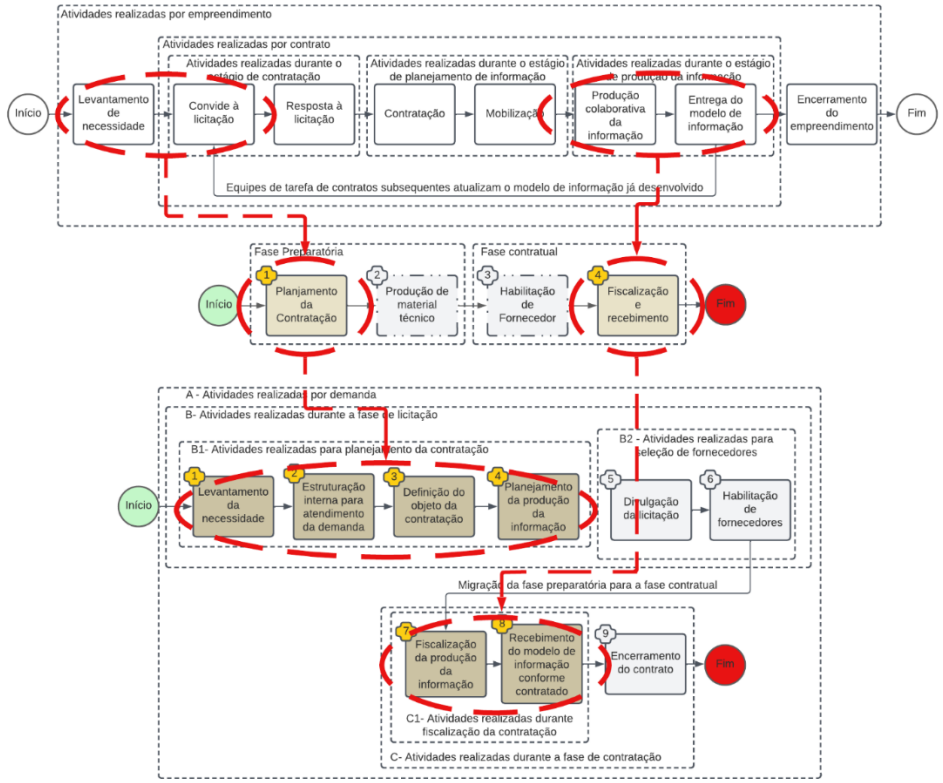
Nota: as autoras.

Portanto, como principais considerações do estudo de caso, destaca-se que:

i. os escritórios técnicos de instituições públicas são predominantemente planejadores, fiscais, operadores e mantenedores de suas edificações;
ii. nessas funções eles têm maior potencial de exercer o poder de contratação do Estado para apoiar a disseminação do BIM no país;
iii. é importante envolver a fiscalização do planejamento do processo para contribuir com os requisitos da contratação e definir antecipadamente métodos e critérios de avaliação dos entregáveis;

A partir dessa compreensão, a Figura 3 traz a relação entre o fluxo a ABNT NBR ISO 19650-2:2022 e o processo médio apresentado na Figura 2, propondo um macrofluxo para gestão do processo de contratações públicas em BIM que foca nas etapas de planejamento e fiscalização como passos na adoção do BIM nas contratações públicas, uma vez que é essencial que os agentes públicos como devem solicitar e receber projetos em BIM.

Figura 3: Macrofluxo proposto para a gestão do processo de contratações públicas em BIM elaborado a partir da Relação entre o fluxo proposto pela ABNT NBR ISO 19650-2 e o macrofluxo médio dos escritórios técnicos.



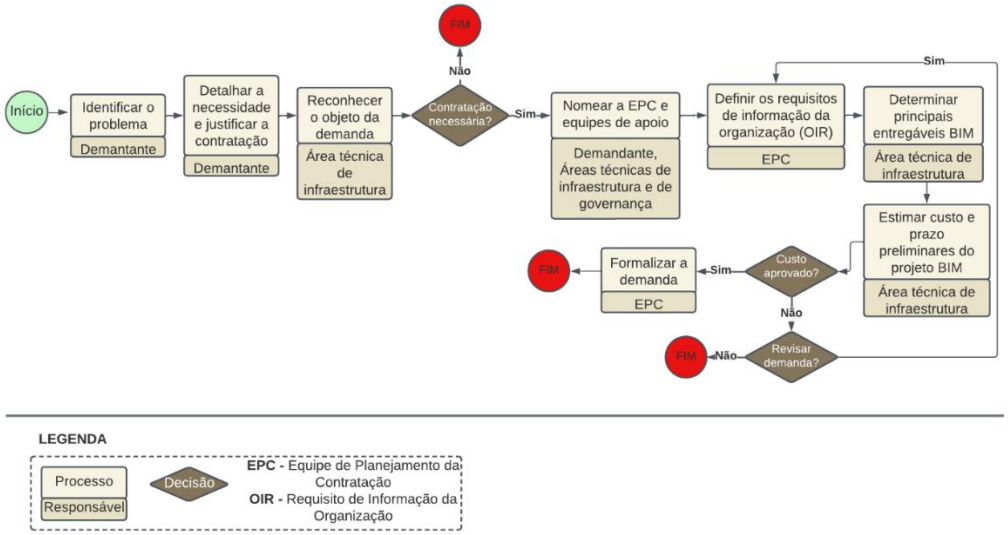
Nota: as autoras.

A partir desse entendimento foram propostas revisões de fluxos e diretrizes para as 4 etapas iniciais, propostas para a fase de planejamento da contratação, e para as 2 etapas finais voltadas à fiscalização do modelo contratado.

Conforme apresentado na Figura 4, para as etapas de levantamento da necessidade e estruturação interna para atendimento da demanda, propõe-se como principais diretrizes:

i. antecipar a formação da EPC desde a constatação da necessidade da demanda para estreitar a relação entre os setores envolvidos e definir as responsabilidades de cada um de seus agentes;
ii. definir as equipes envolvidas no projeto de acordo com as limitações e responsabilidades dos recursos disponíveis;
iii. antecipar o envolvimento da equipe de fiscalização à fase de planejamento para estimular troca de experiências na definição dos requisitos de informação da contratação;
iv. definir os requisitos de informação da organização (OIR) aos quais a contratação está alinhada;
v. especificar os usos que o modelo BIM contratado deverá atender;

Figura 4: Processo para contratações públicas em BIM – atividades para levantamento da necessidade.

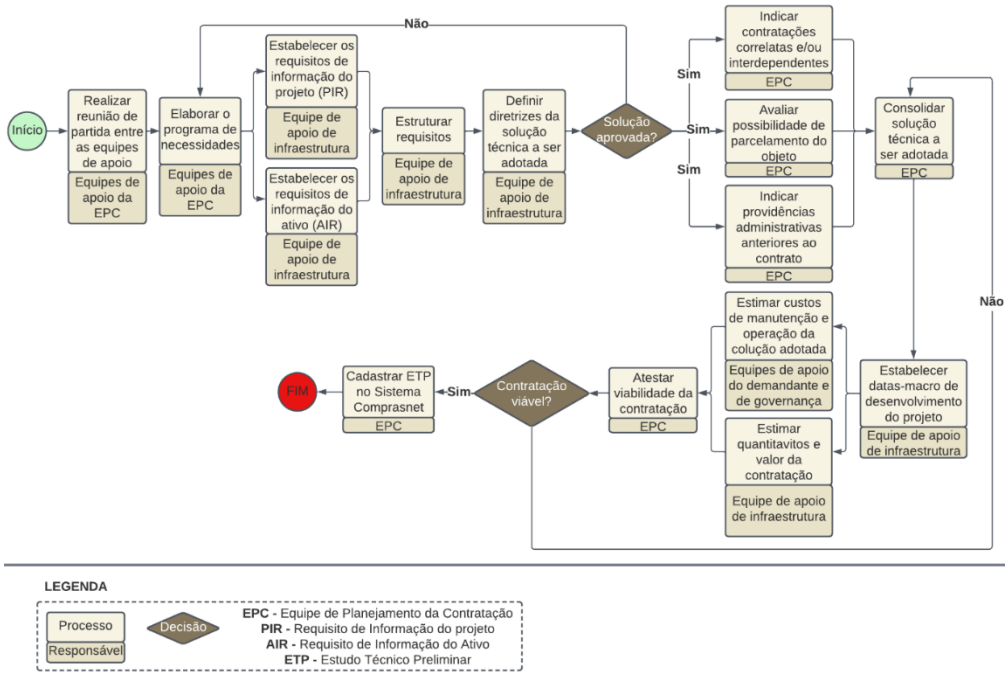


Nota: as autoras.

Para a etapa de definição do objeto da contratação propõe-se o fluxo apresentado na Figura 5, tendo como principal diretriz:

i. definir durante a elaboração do ETP os requisitos de informação do projeto e do ativo que que contemplem a heterogeneidade e a multidisciplinariedade de todas as fases do ciclo de vida da edificação.

Figura 5: Processo para contratações públicas em BIM – atividades para definição do objeto da contratação.



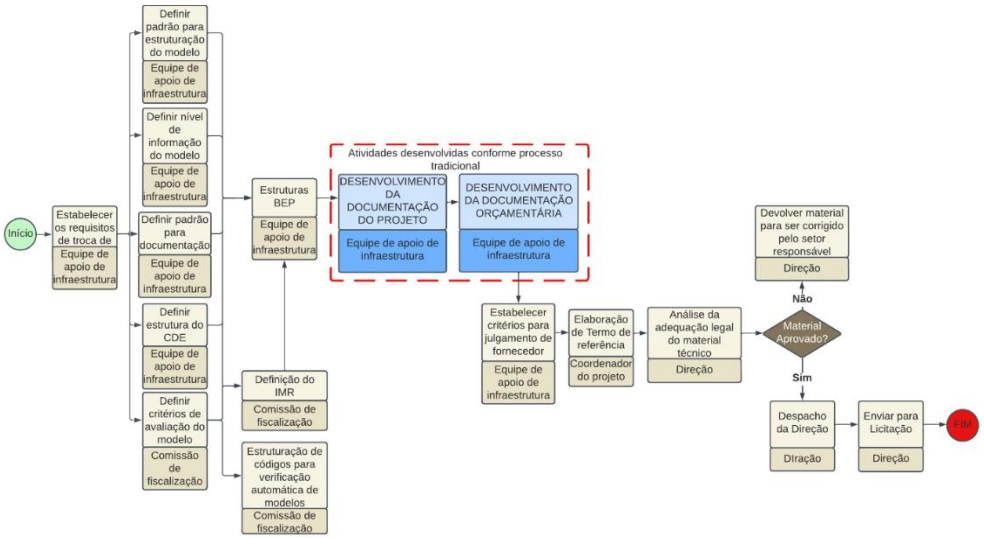
Nota: as autoras

Finalmente, conforme apresentado na Figura 6, propõe-se que o material técnico necessário à contratação contemple a definição dos requisitos e padrões de produção do modelo BIM, bem como de comunicação e troca de informação entre as partes interessadas, conforme as seguintes diretrizes:

i. definição dos requisitos de troca e informação dos sistemas e elementos do projeto;
ii. definição padrões de documentação e de estruturação dos modelos a contratar com base no IFC e nas normas de classificação da informação;
iii. determinação dos níveis de informação necessários para o modelo em cada etapa de desenvolvimento do projeto;
iv. estruturar o CDE da contratação;
v. estabelecer os critérios de avaliação dos modelos a receber;
vi. estruturar todas as definições e informações do planejamento da contratação em um BEP pré-contratual elaborado pela contratante, a ser anexado ao edital de licitação.

Para a etapa de fiscalização foram propostas alterações dos fluxos atualmente desenvolvidos, com vistas a controlar para que os modelos BIM recebidos cumpram todos os requisitos estabelecidos ao longo de planejamento da contratação.

Figura 6: Processo para contratações públicas em BIM – atividades para planejamento da produção da informação.

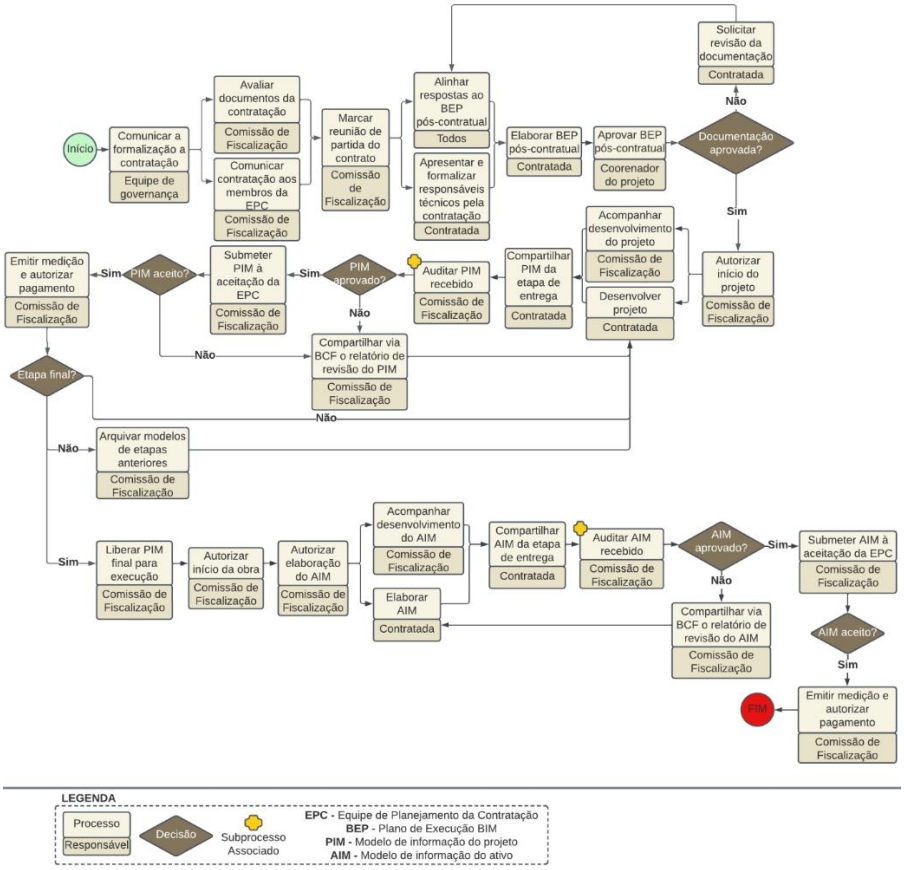


Nota: as autoras

Diante disso, propõe-se o fluxo apresentado na Figura 7 cujas principais diretrizes focam em:

i. participar colaborativamente com a equipe contratada da elaboração do BEP pós-contratual, ao início da execução do contrato, para que suas definições conduzam o desenvolvimento e a verificação dos projetos contratados;
ii. supervisionar a comunicação e colaboração da equipe de entrega através de acesso ao CDE da contratada, intervindo quando necessário.

Figura 7: Processo para contratações públicas em BIM – atividades para fiscalização e recebimento do modelo.

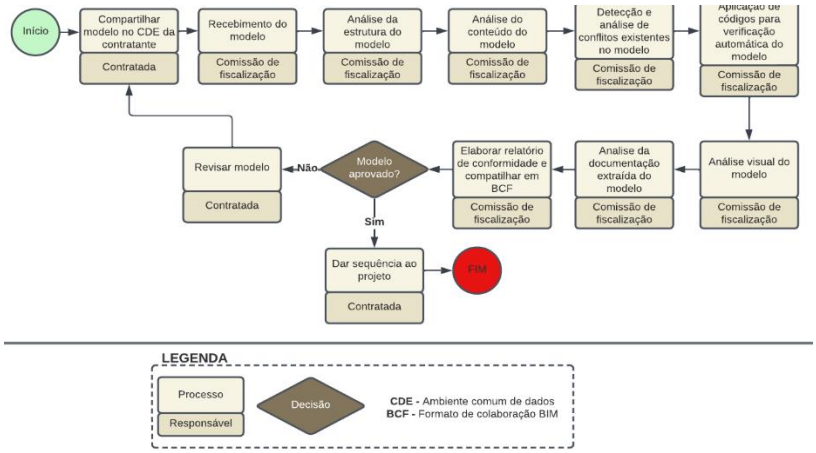


Nota: as autoras

Por fim, para a etapa e recebimento do objeto, propõe-se o fluxo apresentado na Figura 8, para o qual faz-se necessário que as instituições públicas contratantes capacitem suas equipes de fiscalização para auditar os modelos recebidos. Como principais diretrizes, sugere-se:

i. verificar inicialmente a qualidade do modelo através da análise de sua estrutura e conteúdo;
ii. verificar a qualidade do projeto através de detecção de conflitos, aplicação de códigos para análise de requisitos prescritivos e análise visual para checagem de requisitos descritivos.

Figura 8: Processo para contratações públicas em BIM – atividades para recebimento do modelo de informação.



Nota: as autoras

CONCLUSÃO

Diante do exposto, foi possível concluir a partir da pesquisa realizada que o processo de projeto praticado para subsidiar as contratações públicas tem o processo licitatório imposto pela Lei nº 14.133/2021 como principal referência. Nessa lei, apesar de ainda predominar um fluxo de projeto segmentado que compromete a integração entre as partes interessadas, existem possibilidades de colaboração a serem exploradas pelas contratações públicas em BIM, com destaque para o diálogo competitivo.

Na função de contratante, as instituições públicas precisam conhecer os potenciais da metodologia BIM que podem auxiliar no atendimento aos requisitos legais. A revisão de atividades das fases de planejamento e fiscalização são fundamentais para garantir e controlar a qualidade no atendimento a esses requisitos. Portanto, considera-se relevante que as instituições públicas priorizem a adoção do BIM nessas fases, focando em como contratar e receber projetos em BIM.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao CNPq, Conselho nacional de Pesquisa e Desenvolvimento, e à FAPERJ – Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa no Estado do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS

[1] ALBUQUERQUE, F. L. F. S. Análise da qualidade do projeto básico na licitação de obras públicas. Revista Espação Científica, v. 20, p. 1–17, 2018.

[2] SANTOS, H. DE P.; STARLING, C. M. D.; ANDERY, P. R. P. Um estudo sobre as causas de aumentos de custos e de prazos em obras de edificações públicas municipais. Ambiente Construído, v. 1v5, n. 4, p. 225–242, 2015.

[3] BRASIL. Lei nº 14133, de 1º de abril de 2021. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Diário Oficial da União: seção 1 – extra F, Brasília, DF, n. 61-F, p.2, 1 abr. 2021.

[4] CRUZ, R.B de A.; SALGADO, M.S. Qualidade no processo de projeto para contratações públicas em BIM: estudo de caso em escritórios universitários. Orientadora: Profa. Dra. Mônica Santos Salgado. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

[5] FORNI, J.; CARMONA, P. C. Contratação integrada: o (des)alinhamento do regime a boas práticas internacionais. Revista de Direito Administrativo e Constitucional, v. 20, n. 82, p. 221–250, 2020.

[6] CARVALHO, M.; PAULA, J.; GONÇALVES, P. Gerenciamento de obras públicas. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, p. 43–57, 2017.

[7] BALDAUF, J. P.; FORMOSO, C. T.; MIRON, L. I. G. Modelagem de requisitos de clientes de empreendimentos habitacionais de interesse social com o uso de BIM. Ambiente Construído, v. 13, n. 3, p. 177–195, 2013

[8] CAVKA, H. B.; STAUB-FRENCH, S.; POIRIER, E. A. *Automation in Construction Developing owner information requirements for BIM-enabled project delivery and asset management. Automation in Construction*, v. 83, n. Setembro 2016, p. 169–183, 2017.

[9] FERNANDES, G.; FORMOSO, C.; TZORTZOPOULOS-FAZENDA, P. Método para verificação automatizada de requisitos em empreendimentos Habitacionais de Interesse Social. Ambiente Construído, v. 18, n. 4, p. 259–278, 2018.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉNICAS. NBR ISO 19650-1: Organização da Informação Acerca de Trabalhos da Construção – Gestão da Informação usando a Modelagem da Informação da Construção – Parte 1 Conceitos e Princípios. Rio de Janeiro, 2022.

[11] AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Guia 6 - A implantação do processo BIM. Brasília, DF: ABDI, 2017, v.6.

[12] NOGUEIRA, R.; AFONSO, T. BIM como ferramenta multidisciplinar em todas as fases do processo arquitetônico. 4o Congresso português de Building Information Modelling. Anais...Braga: 2022.

[13] RAMÍREZ-SÁENZ, J. A. et al. *Requirements for a BIM execution plan (BEP): a proposal for application in Colombia. Building & Management*, v. 2, n. 2, p. 5–14, 2018.

[14] SÁNCHEZ, D. C.; SERRANO, P. D. S. *Integration of the BIM execution plan with the guide to the project management body of knowledge (PMBOK) of PMI (Project Managment Institute). Building & Managment*, v. 2, n. 3, p. 24–32, 2018.

[15] SIMÕES, B.; CONDE, K.; JESUS, L. PLANO DE EXECUÇÃO BIM EM PROJETOS DE OBRAS PÚBLICAS BRASILEIRAS. VII Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto do Ambiente Construído. Anais...Londrina: 2021

[16] BRASIL. Decreto n° 10306, de 2 de abril de 2020. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling- Estratégia BIMBR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 2020, n. 65, p.5, 3 abr. 2020.

[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16636-2: Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos. Parte 2 – projeto arquitetônico. Rio de Janeiro, 2017.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Quantitativos de modelos: um debate sobre precisão e aplicação no mercado

BIM quantity take-offs: a debate on precision and market application

Leonardo Morais| Inovatech Engenharia | lmorais@inovatechengenharia.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14476587

Resumo

No mercado predial temos um uso crescente de BIM, mas ainda com muitos desafios. Neste contexto, duas concepções sobre levantamentos de quantitativos são grandes obstáculos para a sua adoção: a de que os quantitativos de modelos são imprecisos; e a de que uma modelagem rica em informação demanda muitos requisitos e leva muito tempo para ser incorporada com sucesso por projetistas. Somado a isso, é comum que os empreendimentos sejam atrasados ou até paralisados para processos de reengenharia e redução de custos. Será que estamos perdendo a chance de utilizar o BIM de maneira estratégica para auxiliar na tomada de decisões de projeto em etapas-chave? Neste estudo, trazemos dois cases que mostram como, com uso inteligente de automações e visualização de dados, conseguimos extrair muitas informações, mesmo de modelos sem um nível de detalhe alto, em etapas-chave no ciclo de vida do projeto. Primeiramente, desconstruindo a ideia de imprecisão nos quantitativos BIM, trazemos uma comparação dos levantamentos dos modelos com os quantitativos feitos por construtoras na etapa de concorrência. Nesta fase, a agilidade, rastreabilidade e facilidade de visualização de dados possuem prioridade sobre levantamentos muito minuciosos e granulares. Para isso usamos dashboards interativos para visualização comparativa entre informações de modelo e construtoras, facilitando a navegação pela incorporadora. Com essa comparação, percebemos que os modelos são mais precisos em alguns segmentos de orçamento. Mesmo quando os modelos possuem informações mais genéricas, eles trazem insights pela grande rastreabilidade. Para criarmos dados padronizados e ricos o suficiente para serem considerados confiáveis, é comum a exigência de uma rígida e detalhada lista de parâmetros e requisitos de modelagem, dificultando a extração de informações úteis no momento correto. Com a interpretação e cruzamento inteligente de poucos parâmetros (categoria, nomenclatura e EAP do cliente), conseguimos enriquecer semanticamente o modelo através de algoritmos em Python personalizáveis para cada desafio, dentro do ambiente do Revit. Com este método alcançamos não só o enriquecimento de dados com informações relevantes ao orçamento de obra, como regras para levantamentos de mão obra, mas também a padronização de parâmetros entre diversas categorias. A utilização de um único Property Set dos IFCs e a padronização dos parâmetros em uma única base de dados é um fator crucial de sucesso no tratamento das informações. Os maiores resultados que alcançamos foi o aumento do uso dos dados de modelo pelos profissionais em cargos estratégicos, mesmo que não possuam capacitação em BIM, uma maior confiança nos dados de modelo e o auxílio na tomada de decisões de orçamento e projeto em tempo hábil, contando com a participação ativa das construtoras. Apesar disso, esses usos foram apenas uma pequena amostra da potencialidade do enriquecimento, tratamento e visualização de dados de modelo. Esperamos fomentar uma discussão sobre flexibilização de requisitos de modelagem, desburocratização dos modelos, e por fim, sobre como quando utilizar o BIM para auxiliar nas tomadas de decisão, evitando a paralisação e até cancelamento de projetos por inviabilidade financeira.

Palavras-chave: Quantitativo. Dados. Dashboard. Orçamento. Python.

Abstract

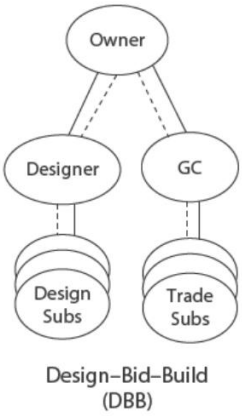
In the building market, we see a growing use of BIM, but there are still many challenges. In this context, two perceptions regarding quantity takeoffs are major obstacles to its adoption: the belief that the quantities from models are imprecise, and the idea that information-rich modeling requires many requirements and takes a long time to be successfully integrated by designers. Additionally, it is common for projects to be delayed or even halted due to re-engineering processes and cost reduction efforts. Are we missing the opportunity to use BIM strategically to assist in project decision-making at key stages? In this study, we present two case studies that demonstrate how, through the intelligent use of automation and data visualization, we can extract a wealth of information even from models that lack a high level of detail, during critical phases of the project lifecycle. First, by deconstructing the idea of imprecision in BIM quantities, we provide a comparison between model takeoffs and those performed by contractors during the bidding phase. At this stage, agility, traceability, and ease of data visualization take priority over overly detailed and granular takeoffs. To achieve this, we use interactive dashboards for comparative visualization between model information and contractor data, facilitating navigation for the developer. Through this comparison, we find that the models are more accurate in certain budget segments. Even when the models contain more generic information, they offer valuable insights due to their high traceability. To create standardized and rich data that can be considered reliable, a strict and detailed list of parameters and modeling requirements is often required, making it challenging to extract useful information at the right moment. By intelligently interpreting and cross-referencing a few parameters (category, nomenclature, and client classification number for elements), we were able to semantically enrich the model using customizable Python algorithms tailored to each challenge within the Revit environment. With this method, we achieved not only the enrichment of data with relevant information for the project budget, including rules for labor takeoffs, but also the standardization of parameters across various categories. The use of a single Property Set from the IFCs and the standardization of parameters within a single database are crucial factors for successful information management. The most significant outcomes we achieved were an increase in the use of model data by professionals in strategic positions, even if they lacked BIM training, greater confidence in the model data, and assistance in timely budget and project decision-making, supported by the active participation of contractors. Nevertheless, these applications represent just a small sample of the potential for enriching, processing, and visualizing model data. We hope to foster a discussion about the flexibility of modeling requirements, the simplification of models, and ultimately, how to effectively use BIM to assist in decision-making, thereby avoiding project delays or even cancellations due to financial infeasibility.

Keywords: Take-off. Data. Dashboard. Cost Estimation. Python

INTRODUÇÃO

Este estudo de caso está inserido em um contexto relativamente comum nos empreendimentos residenciais de médio, alto e altíssimo padrão no Sul e Sudeste do Brasil. Esses empreendimentos são desenvolvidos de acordo com o modelo DBB (*Design-Bid-Build*), comum no mercado. Nele, o proprietário contrata uma equipe de projetistas (e, muitas vezes, como no caso apresentado, uma gerenciadora) para desenvolvimento do projeto (*Design*). Em seguida, ele convida empreiteiros a apresentar propostas para a execução da obra. Os empreiteiros avaliam os documentos do projeto e submetem suas ofertas com base nos custos e prazos estimados (*Bid*). Por fim, o proprietário seleciona um dos empreiteiros com base nas propostas recebidas e o contrato é assinado. O empreiteiro, então, executa a construção de acordo com os planos e especificações fornecidos (*Build*). Nota-se que esse modelo é o que mais oferece obstáculos à implementação de BIM [1].

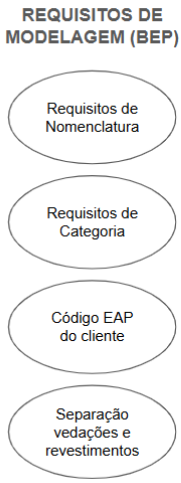
Figura 1.: Figura esquemática do modelo *Design-Bid-Build.*



Fonte: Sacks et al, 2021, p. 4

Nos casos analisados, estava no escopo da gerenciadora de projetos o levantamento de quantidades do modelo de arquitetura. Desta maneira, alguns requisitos de informação [2] simples estavam sendo seguidos, como regras de nomenclaturas para elementos, especificação de categorias e preenchimento de parâmetro de classificação (EAP), especificados no BEP. Essas regras, porém, permitiam um levantamento mais genérico, desconectado dos padrões que poderiam emergir durante a concorrência entre as construtoras. Além disso, a equipe de modelagem de arquitetura estava pressionada com prazos e marcos do projeto, inviabilizando a absorção de novas regras de modelagem após a entrada das construtoras.

Figura 2.: Relação de pré-requisitos usuais de modelagem e levantamentos genéricos



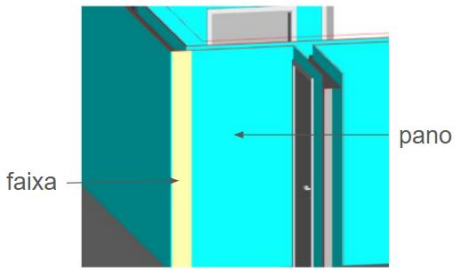
LEVANTAMENTOS

Área de argamassa	Àrea de contrapiso	Área de revestimento de fachada
Área de pintura	Quantidade de caixilhos	Quantidade de bancadas
Área de porcelanato	Quantidade de portas de madeira	Área de forro e pintura de teto
Área de alvenaria (por espessura)	Quantidade de bacias e cubas	Quantidade de guarda-corpos

Fonte: Autor.

Um ponto de atenção é que cada construtora possui suas regras para orçamentação durante a concorrência. Alguns custos são levantados de maneira paramétrica, utilizando o histórico de obras da construtora. Algumas das regras mais comuns são a divisão de mão de obra para revestimentos em panos e faixas e regras de descontos de vãos de esquadrias para cálculo de mão de obra de acabamentos.

Figura 3: Separação entre panos e faixas para levantamento de mão de obra



Fonte: Autor.

Para regras de descontos de vãos, cada construtora possui uma regra para quando da área de aberturas e caixilhos deve de fato ser retirada de uma vedação ou revestimento durante o cálculo de mão de obra.

Figura 4: Exemplo da regra mais simples para levantamento de paredes. Dependendo da construtora, podem ser regras mais complexas, com variações para cada revestimento.



Fonte: Autor.

Atualmente essas regras podem ser adaptadas usando softwares de orçamentação BIM como AltoQI Visus e RubK, mas o uso dessas ferramentas demanda uma grande familiaridade do orçamentista com os modelos, além do investimento em licenças e treinamento.

Neste cenário, nos deparamos com (1) uma contratante sem requisitos definidos para modelagem, (2) construtoras entrando tardiamente no projeto, (3) levantamentos da gerenciadora e cada construtora usando diferentes classificações e com grandes discrepâncias, (4) dificuldade de acesso e manejo dos dados de modelo pela contratante e construtoras, (5) impossibilidade de remodelagem sem grandes impactos no cronograma de projeto.

A alternativa adotada pela gerenciadora foi fazer uso das tecnologias disponíveis para enriquecer os dados de modelo, utilizando o BIM como ponte e ferramenta de verificação para a contratante e construtoras, assim evitando o desperdício de modelos.

METODOLOGIA

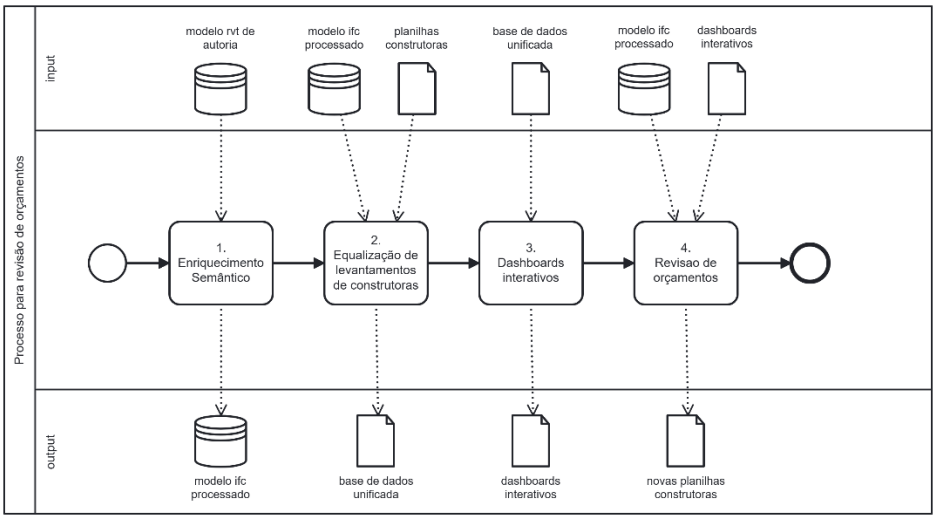
Para realizar a equalização de propostas e alavancar o uso dos modelos BIM, foi proposto o seguinte plano de ação:

1. Aplicação de enriquecimento semântico do modelo de arquitetura pela gerenciadora, para chegar a uma granularidade semelhante à das construtoras;
2. Equalização de levantamentos de construtoras e modelos em uma mesma base comparativa;

3. Oferecer um acesso visual e intuitivo para a contratante e construtoras para verificação e balizamento;

Os objetivos deste plano de ação foram estabelecer um processo que minimize o tempo de checagem da contratante e retrabalhos dos modeladores de cada disciplina. Além disso, o processo deveria ser automatizado para viabilizar reaproveitamento por parte da gerenciadora.

Figura 5.: Fluxo do plano de ação para utilização estratégica das informações do BIM



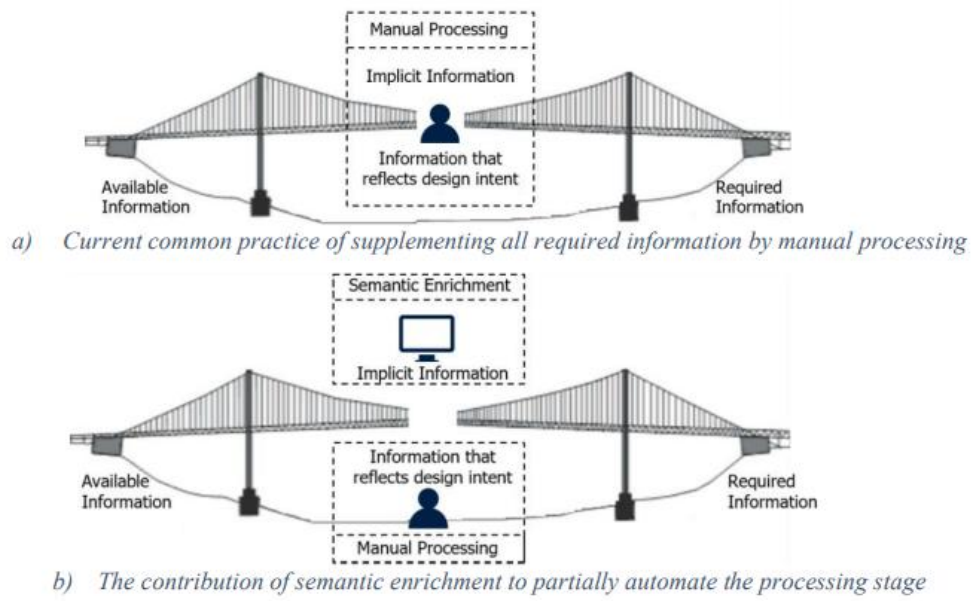
Fonte: Autor.

ENRIQUECIMENTO SEMÂNTICO

Podemos definir o enriquecimento semântico no BIM como:

> *[...] um processo desenvolvido para automaticamente inferir nova informação baseada na informação armazenada nos modelos BIM, fornecendo uma representação explícita desta informação para facilitar seu uso em determinada ferramenta ou processo [3].*

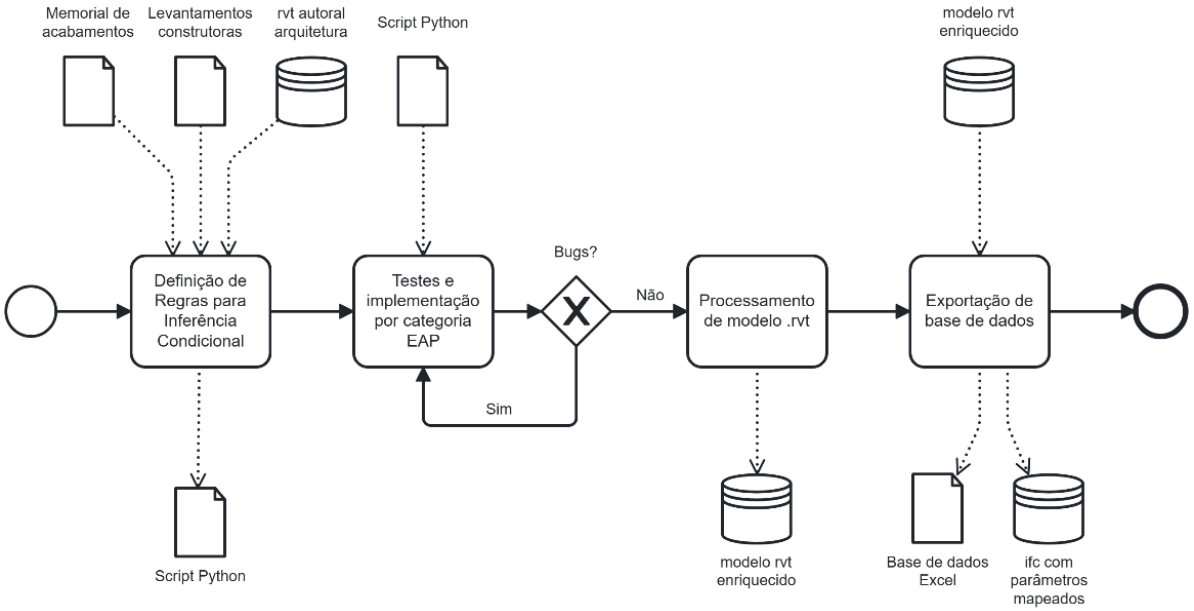
Figura 6: Diagrama com diferença de processamento manual de informações e enriquecimento semântico



Fonte: Bloch, 2018, p 433.

O enriquecimento semântico pode se dar de diversas formas. Neste estudo de caso, o enriquecimento se deu por conjuntos de regras condicionais para cada elemento e relação entre elementos e suas propriedades, criados usando Python para acessar a API do Revit.

Figura 7: Mapa de processo, inputs e outputs do processo de enriquecimento semântico



Fonte: Autor.

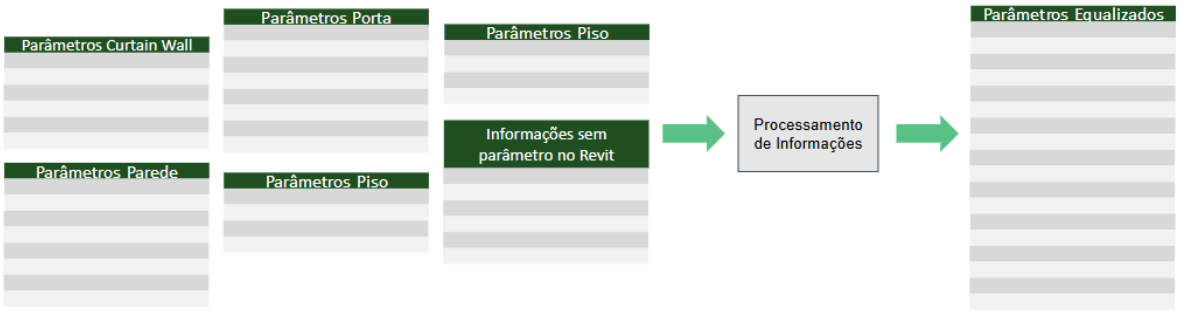
Após análises, as seguintes informações foram colocadas como objetivos das regras de inferência do script:

1. Separação de elementos de revestimento em camadas de revestimento aderido e acabamento em pintura ou cerâmica. Por exemplo, uma camada de revestimento de parede pode terá diferentes parâmetros de material e mão de obra para argamassa e pintura.

2. Cruzamento de dados de memorial com ambientes para especificação mais precisa por ambiente. Exemplo de inferência condicional: “caso o revestimento esteja localizado no banheiro, preencha o parâmetro de especificação EAP 01 como pintura látex acrílico. Caso contrário, preencha como pintura látex PVA.”
3. Relação de caixilharia e aberturas com as paredes hospedeiras para contabilização de áreas conforme regras de mão de obra da construtora. Com isso, cada camada dos elementos de paredes terá seus próprios valores de área de material e mão de obra. É importante também manter parâmetros de memória de cálculo para rastreabilidade do que foi considerado, explicitando: caixilhos considerados, área de cada vão, área considerada de cada vão.
4. Classificação de elementos de revestimento em pano ou faixa para a quantificação de mão de obra; De maneira semelhante às regras de vãos e especificações, é possível preencher um parâmetro de área ou comprimento, a depender da classificação do elemento após teste automatizado.
5. Padronização de parâmetros entre elementos de diversas categorias nativas no software de autoria.

Um pré-requisito para a utilização dos dados de maneira eficiente é a padronização de parâmetros entre todos os elementos. Por exemplo, podemos ter parâmetros nativos diferentes de área para caixilhos, guarda-corpos e paredes envidraçadas. É importante transferir os dados destes parâmetros para um único parâmetro comum.

Figura 8: utilização de processamento automatizado para padronizar parâmetros em um único Property set, independente da categoria.



Fonte: Autor.

Foram mapeados cerca de 20 parâmetros para preenchimento usando regras condicionais automatizadas. Utilizando apenas a numeração EAP, categorias, nomenclatura e características geométricas dos componentes, é possível inferir todas essas informações.

Figura 9.: informações inferidas a partir do enriquecimento de dados, utilizando os mesmos requisitos de modelagem anteriores:



Informações Inferidas

Área de cada vão (em formato de lista)	Seção do edifício (trecho, torre ou uso)	Mão de obra camada 1
Descontos de vãos	Comprimento de sanca ou faixa de revestimento	Mão de obra camada 2
Classificação em pano ou faixa	Dimensões ocupadas (LxCxH)	Área considerada de pintura de esquadria
Ambiente	Especificação (cruzando família com ambiente)	Área de vidro estimada
Área de pedra de bancada (contando saia e frontão)	Subcomponentes (soleira, baguete, maçanetas)	Caixilhos e elementos hospedados / em conflito

Fonte: Autor.

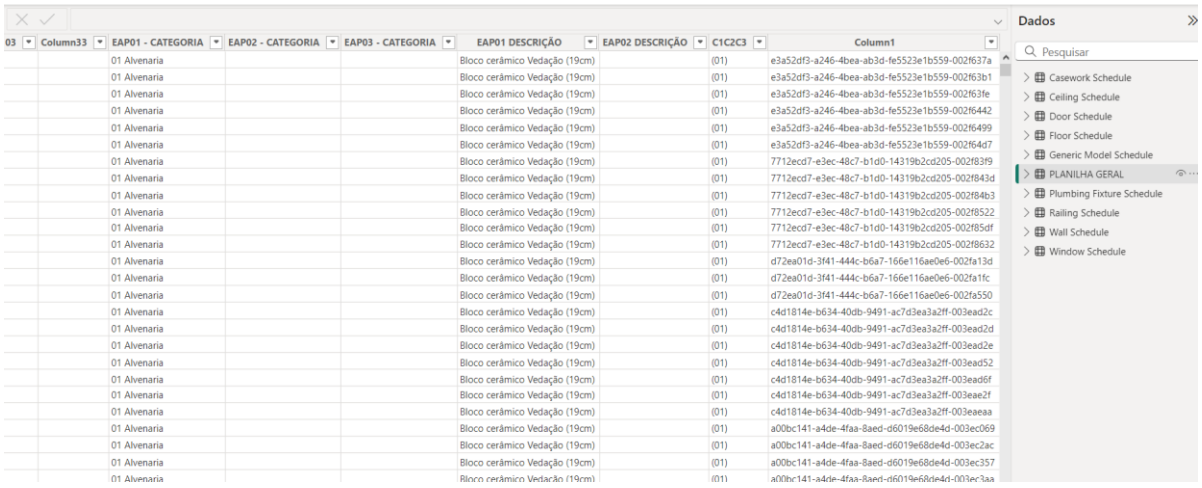
EQUALIZAÇÃO DE ORÇAMENTOS

Para dar início às comparações de quantidades dos modelos com as construtoras, é necessário que todos os orçamentos sigam um único padrão de formatação e EAP. Essa etapa é uma transcrição manual das informações dos orçamentos para uma única base de dados. Essa base se tornará o modelo para futuras concorrências da contratante.

VISUALIZAÇÃO DE DADOS

Para visualização dos dados recém-padronizados, a ferramenta de escolha foi o Microsoft PowerBI. Uma possibilidade estudada para visualização de dados de maneira intuitiva é a inclusão do modelo no Microsoft PowerBI.

Figura 10.: Exemplo de base de dados no PowerBI. Todos os elementos modelados possuem os mesmos parâmetros, resultando em uma base limpa e de fácil processamento.



Fonte: Autor.

LIMITAÇÕES

Nos casos em questão, a modelagem, apesar de genérica, seguia alguns padrões de maneira consistente, o que diminuiu a ocorrência de exceções nas regras e aumentou a velocidade de desenvolvimento dos scripts. Essa alternativa pode ser difícil de viabilizar para pequenos escritórios ou para situações em que não há qualquer padrão de modelagem.

Outra limitação é o uso do Autodesk Revit em vez do IFC para o processamento de dados. Isso torna o processo sujeito a falhas por conta de atualizações de software e sua API. Com esse processo, é também essencial que o modelo autoral de arquitetura seja publicado. Isso pode ser um obstáculo para alguns escritórios. De maneira geral, parece que todas as soluções aplicadas no caso estudado poderiam ser viabilizadas através do IfcOpenShell e ferramentas abertas como o Blenderbim, possibilitando um fluxo OpenBIM mais independente.

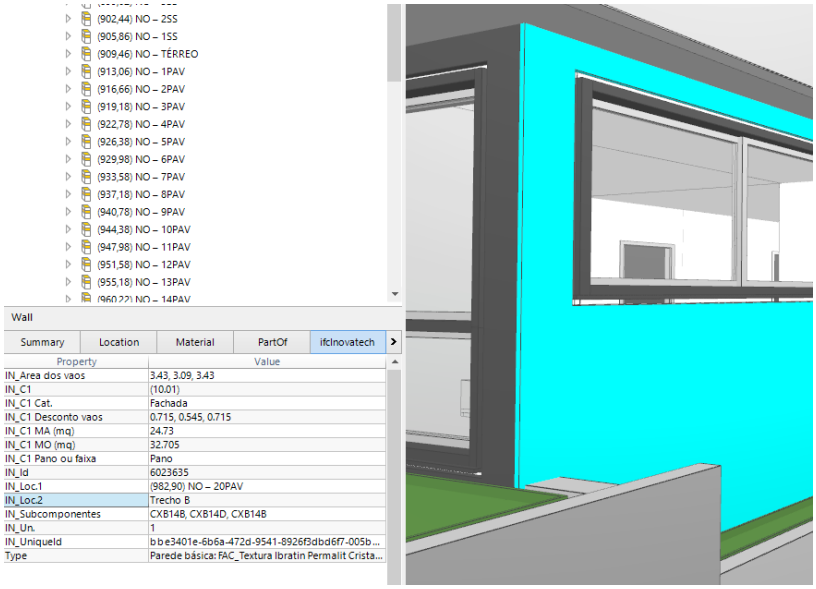
DISCUSSÃO E RESULTADOS

Após um período de análise e desenvolvimento semelhante ao tempo de um levantamento manual, foi possível criar um processo e uma primeira versão de ferramentas para enriquecimento e visualização de dados de modelos BIM.

ENRIQUECIMENTO SEMÂNTICO

A partir do acesso à API usando scripts Python no PyRevit, foi possível preencher outros parâmetros usados nos levantamentos. Os parâmetros preenchidos foram sempre os mesmos, independente da classe de elemento, e agrupados sob o mesmo Property Set. O fato de o preenchimento ser automático, utilizando os parâmetros nativos sempre que possível, elimina qualquer erro de preenchimento por falha humana.

Figura 11: informações inferidas a partir do enriquecimento de dados, utilizando os mesmos requisitos de modelagem anteriores:

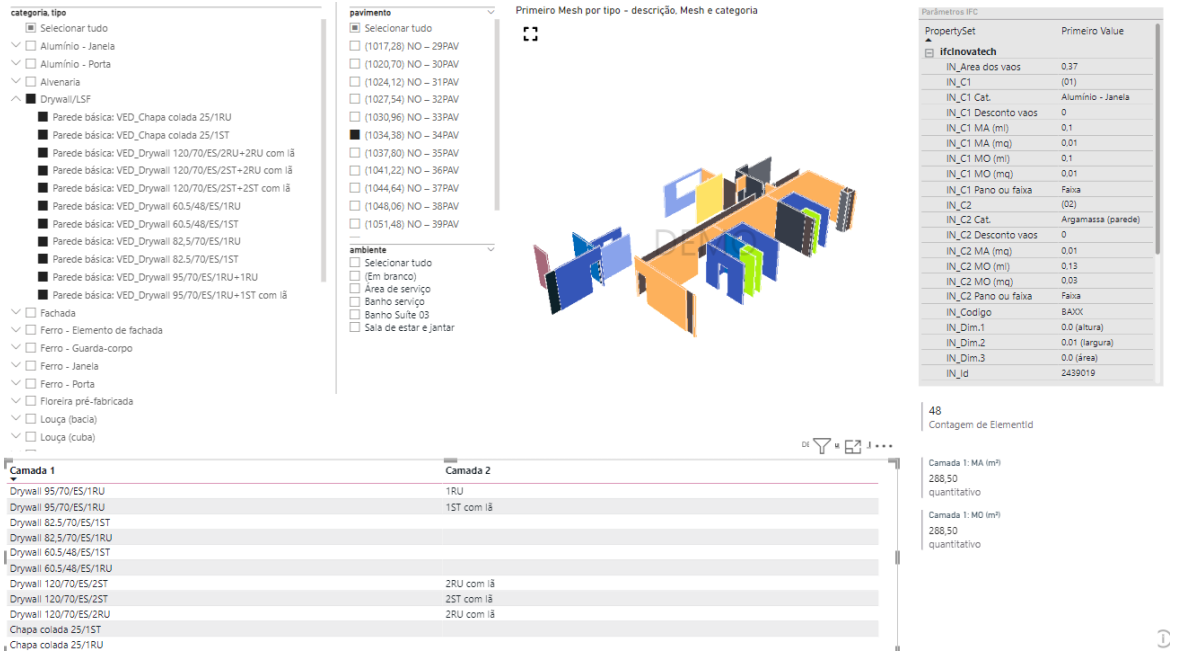


Fonte: Autor.

VISUALIZAÇÃO DE DADOS

A padronização de parâmetros favoreceu as visualizações pela contratante. Com cada elemento localizado e identificado pelo ID, os levantamentos se tornaram não apenas interativos, mas também transparentes. A utilização do mesmo conjunto de parâmetros para todos os elementos possibilitou, também, visualizações muito úteis à contratante, como no caso do add-on de PowerBI, *Tracer*, desenvolvido pela *Proving Ground*, e do Autodesk Tandem.

Figura 12: visualização de modelos usando PowerBI, através do *Tracer* (*Proving Ground*). A padronização do *Property set* facilita a operação para usuários pouco familiarizados com BIM.

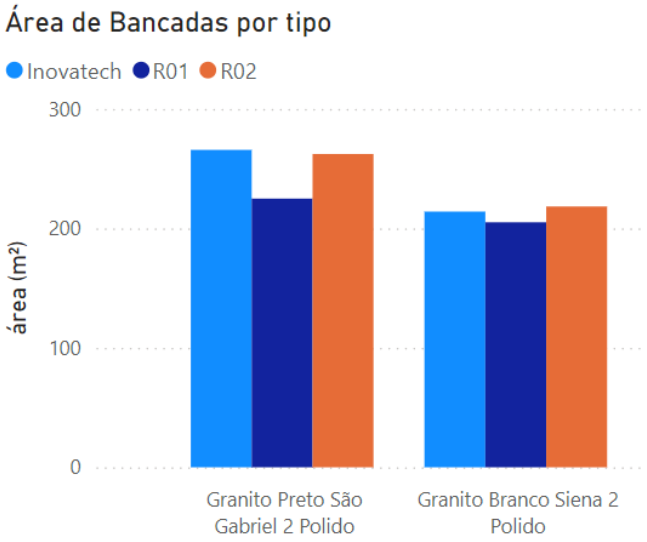


Fonte: Autor.

REVISÃO DE ORÇAMENTOS

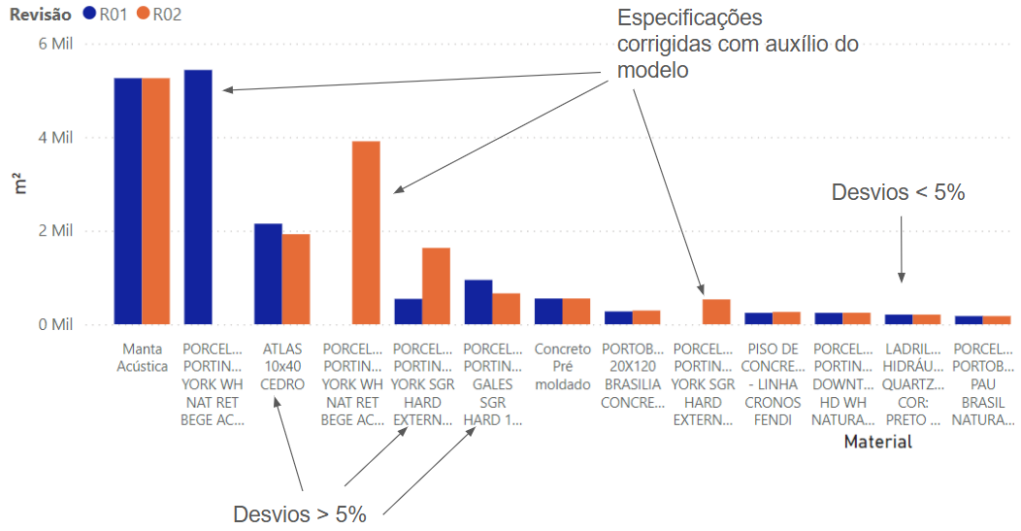
Durante a revisão de orçamentos usando os dados dos modelos, foi possível observar que, na maioria dos casos, os levantamentos eram próximos, dando suporte a viabilidade de usar o modelo para extração, mesmo com modelagens mais simples. Nos casos de discrepância entre a construtora e o modelo, após revisão, os totais se aproximaram do modelado.

Figura 13: Comparativo de levantamentos do modelo, levantamento inicial da construtora (R01) e revisão da construtora (R02). Nota-se que a revisão fica muito mais próxima às quantidades levantadas de modelo.



Fonte: Autor.

Figura 14: Comparativo de levantamentos antes (R01) e depois (R02) dos ajustes de parametrização dos modelos e acesso aos dados. O modelo auxiliou em diversas correções.



Fonte: Autor.

Nota-se que na etapa de orçamento para viabilização financeira das obras, os levantamentos de modelo não apenas podem oferecer suporte à concorrência, como também pode ser mais preciso que os orçamentos iniciais de construtoras.

Após a revisão dos orçamentos, não apenas a contratante tinha parâmetros claros de comparação entre as concorrentes, como também sabia os pontos de atenção do projeto com relação ao custo. Os dashboards e modelos, independente da precisão, passaram a ser as principais ferramentas manipuladas durante as discussões, uma vez que estavam disponíveis e organizados de maneira intuitiva em um momento chave do projeto.

CONCLUSÃO

A conclusão do estudo evidencia que a implementação de BIM na extração de quantitativos, apesar de desafiadora, oferece benefícios substanciais quando bem orientada por automações e enriquecimento semântico. A dificuldade tradicional de modelagem para quantitativos pode ser mitigada com o uso de automações que reduzem a necessidade de detalhamentos complexos e específicos desde as fases iniciais do projeto. Através do uso de algoritmos personalizáveis, é possível agregar valor semântico aos modelos, facilitando a extração de informações necessárias sem sobrecarregar os modeladores com exigências técnicas extensas. Esse processo, ao simplificar a modelagem e estruturar os dados de forma padronizada e rastreável, permite que profissionais estratégicos acessem as informações dos modelos de maneira prática e eficaz, mesmo sem uma formação avançada em BIM.

Em relação à precisão dos quantitativos BIM, o estudo mostrou que os modelos frequentemente superam os levantamentos iniciais das construtoras em termos de exatidão para certos segmentos orçamentários. Contudo, mais importante que a precisão é a disponibilidade desses dados no momento certo e a facilidade com que podem ser interpretados e aplicados. A implementação de dashboards e ferramentas de visualização acessíveis possibilita uma utilização prática e imediata das informações pelos tomadores de decisão, permitindo ajustes orçamentários com base em dados mais confiáveis e rastreáveis.

REFERÊNCIAS

[1] EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2021.

[2] ISO 19650-2, *Organization of information about construction works – Information management using Building Information Modelling – Part 2: Delivery phase of assets*.

[3] BLOCH, T. *Connecting research on semantic enrichment of BIM - Review of approaches, methods and possible applications. Journal of Information Technology in Construction (ITcon),* Vol. 27, pg. 416- 440, DOI: 10.36680/j.itcon.2022.020. Disponível em (https://www.itcon.org/papers/2022_20-ITcon-Bloch.pdf). Acesso em: (outubro, 2024).

Área temática: Inovação tecnológica na construção

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Algoritmo para cálculo de áreas de geometrias complexas e de menor recorrência em modelos IFC

Algorithm for calculating areas of complex and least recurring geometries in IFC models

João Alberto da Motta Gaspar| Sondotécnica | joao.gaspar@sondotecnica.com.br | 0000-0001-8601-9420
Rodrigo Costa Loureiro | Sondotécnica | rodrigo.loureiro@sondotecnica.com.br
Thaís Bernardo dos Santos | Sondotécnica | thais.santos@sondotecnica.com.br
Alcione Dolavale | Sondotécnica | alcione.dolavale@sondotecnica.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14476629

Resumo

Em relação ao levantamento de quantidades realizado a partir de desenhos 2D, a extração a partir de modelos BIM é realizada em menor tempo e com o mesmo grau de precisão. Assim como ocorre com métodos tradicionais de orçamentação, os processos de extração a partir de modelos BIM devem ser verificados e auditados para que sejam validados. Os processos de extração de quantidades em BIM, normalmente, fazem uso de softwares fornecidos por grandes empresas. Ao se fazer uma auditoria dos métodos de extração de modelos BIM com uso de softwares de mercado, foram percebidas inconsistências e erros em uma pequena, porém significativa, parcela dos elementos analisados. Os principais problemas referem-se às áreas do topo de elementos com formatos não retangulares, como é o caso dos blocos de fundação. O Industry Foundation Classes (IFC) é um padrão internacional aberto que oferece um esquema de dados para descrever os objetos que fazem parte do universo da construção civil e infraestrutura. A descrição geométrica em IFC dos elementos da construção pode ser realizada de vários modos, e nem todos são corretamente interpretados pelos softwares de mercado. O objetivo desta pesquisa é desenvolver algoritmos para o cálculo de áreas de elementos que foram geometricamente descritos em IFC utilizando métodos não-interpretados pelos softwares tradicionais. Como objeto de estudo foi utilizado um projeto de habitação de interesse social (HIS), composto por um edifício de 10 pavimentos, com 37 unidades habitacionais, recepção e área de lazer. O método aplicado foi o Design Science Research (DSR), que visa a buscar uma solução para um determinado problema. Foi desenvolvido um artefato na forma de método, que se apresenta como um conjunto de passos (algoritmo) usado para executar uma tarefa. O seguinte procedimento foi adotado: conscientização, sugestão, desenvolvimento, avaliação e conclusão. Na etapa de conscientização, buscou-se compreender a problemática, que se refere ao cálculo de áreas de topo de superfícies de geometrias não-retangulares. Na etapa de sugestão, investigou-se os métodos de descrição de geometrias do IFC 2x3. Na etapa de desenvolvimento, propôs-se um método de cálculo das áreas com o uso de Python e a biblioteca ifcopenshell. Na etapa de avaliação, o algoritmo foi testado pela equipe de especialistas. A construção do algoritmo foi aperfeiçoada com o auxílio de outras bibliotecas além da ifcopenshell, como shapely, matplotlib, numpy, openpyxl, entre outras. Para o cálculo da área dos polígonos que representam elementos no modelo IFC, foi utilizado como método matemático a fórmula Shoelace (cadarço), amplamente usada em

ferramentas de automação de cálculos geométricos no setor de arquitetura e engenharia. Como resultado, verificou-se maior precisão nos dados calculados pelo método proposto. Na comparação com os dados extraídos a partir de softwares de mercado, verificou-se que a precisão na extração das áreas das fundações de formato não retangular aumentou em 33%. Além disso, verificou-se uma redução do tempo de extração de informações para 95%. O cálculo das áreas e volumes dos blocos de fundação pelo método manual demorava 1 dia e foi reduzido para 20 minutos com o uso do algoritmo desenvolvido. Como conclusão, o algoritmo foi capaz de fornecer um resultado mais confiável e rápido, quando comparado ao método anterior, que fazia uso de softwares tradicionais de mercado, contribuindo para a entrega de um levantamento de quantitativos para orçamentação cada vez mais preciso.

Palavras-chave: Auditoria. BIM. IFC. Análise automatizada. Extração de quantidades. Orçamentos.

Abstract

In relation to quantity surveying carried out from 2D drawings, extraction from BIM models is carried out in less time and with the same degree of precision. As with traditional budgeting methods, extraction processes from BIM models must be verified and audited to be validated. Quantity extraction processes in BIM typically make use of software provided by large companies. When carrying out an audit of BIM model extraction methods using market software, inconsistencies and errors were noticed in a small, but significant, portion of the analyzed elements. The main problems refer to the top areas of elements with non-rectangular shapes, such as foundation blocks. The Industry Foundation Classes (IFC) is an open international standard that offers a data schema to describe objects that are part of the construction and infrastructure universe. The geometric description in IFC of construction elements can be carried out in several ways, not all of which are correctly interpreted by market software. The objective of this research is to develop algorithms for calculating the areas of elements that were geometrically described in IFC using methods not interpreted by traditional software. As an object of study, a social housing project (HIS) was used, consisting of a 10-story building, with 37 housing units, reception and leisure area. The method applied was Design Science Research (DSR), which aims to find a solution to a given problem. An artifact was developed in the form of a method, which presents itself as a set of steps (algorithm) used to perform a task. The following procedure was adopted: awareness, suggestion, development, evaluation and conclusion. In the awareness stage, we sought to understand the problem, which refers to the calculation of top areas of surfaces with non-rectangular geometries. In the suggestion stage, IFC 2x3 geometry description methods were investigated. In the development stage, a method for calculating areas was proposed using Python and the ifcopenshell library. In the evaluation stage, the algorithm was tested by the team of experts. The construction of the algorithm was improved with the help of libraries other than ifcopenshell, such as shapely, matplotlib, numpy, openpyxl, among others. To calculate the area of the polygons that represent elements in the IFC model, the Shoelace formula was used as a mathematical method, widely used in geometric calculation automation tools in the architecture and engineering sector. As a result, greater accuracy was observed in the data calculated by the proposed method. In comparison with data extracted from market software, it was found that the accuracy in extracting the areas of non-rectangular foundations increased by 33%. In addition, there was a reduction in the time for extracting information to 95%. Calculating the areas and volumes of foundation blocks using the manual method took 1 day and was reduced to 20 minutes with the use of the developed algorithm. In conclusion, the algorithm was able to provide a more reliable and faster result when compared to the previous method, which used traditional market software, contributing to the delivery of an increasingly accurate quantitative survey for budgeting.

Keywords: Audit. BIM. IFC. Automated analysis. Quantity extraction. Cost estimation.

INTRODUÇÃO

Em relação ao levantamento de quantidades realizado a partir de desenhos 2D, diversos estudos indicam que a extração de dados geométricos dos elementos da construção a partir de modelos BIM, como suas dimensões (alturas, larguras e comprimentos), perímetros, áreas e volumes é realizada em menor tempo e com o mesmo grau de precisão [1, 2, 3, 4, 5].

Assim como ocorre com métodos tradicionais de orçamentação, os processos de extração de quantidades de elementos a partir de modelos BIM, o que inclui os seus dados não-geométricos e geométricos devem ser verificados e auditados para que sejam validados [2, 6, 7].

Atualmente, para realizar os processos de extração de quantidades a partir de modelos BIM, observa-se que a grande maioria dos profissionais utiliza softwares desenvolvidos por grandes empresas. Ao se questionar os motivos que levam a este tipo de escolha, as justificativas geralmente apresentadas contém argumentos como a) uma provável grande base de usuários, b) a facilidade em se encontrar tutoriais na internet, c) a disponibilização para download, rápido e fácil, de versões gratuitas para estudantes, ou de teste por um tempo limitado, d) uma percepção de que a domínio de um software provavelmente popular possibilita ao usuário uma maior capacidade em se manter em uma vaga ou de conquistar uma posição no mercado, e) a percepção de que softwares de grandes empresas seriam mais seguros, estáveis e melhores, entre outros.

A consolidação destas percepções no imaginário do usuário é, provavelmente, construída a partir de diversas frentes. Uma delas pode ser a frequente divulgação de relatórios de consultorias internacionais que, com pequenas variações em seus dados, estimam que o mercado de softwares BIM movimenta, anualmente, valores astronômicos. . O *Building Information Modeling Market Report* 2024, publicado pela consultoria *Markets And Markets* estima que este mercado teria movimentado 7 bilhões de dólares em 2023, enquanto a Verified Market Reports relata que, em 2023, a movimentação esteve por volta de 6,08 bilhões [7, 8].

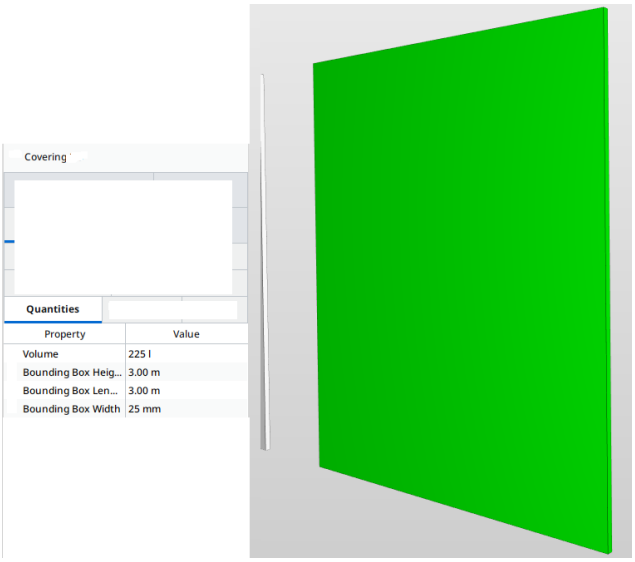
Desta forma, a tendência natural de um especialista em arquitetura e engenharia que trabalha em BIM é utilizar uma solução oferecida por uma grande empresa de softwares, estratégia que também é adotada pelas grandes empresas que atuam na construção civil e infraestrutura em todo o mundo, como é o caso apresentado neste artigo.

A Sondotécnica Engenharia presta serviços em vários segmentos de infraestrutura, com foco na execução dos projetos, gerenciamento, fiscalização e supervisão de obras. É uma das líderes em consultoria de engenharia no Brasil, com mais de 3 mil projetos executados e mais de 400 clientes atendidos [10] e utiliza, majoritariamente, softwares de grandes empresas para o desenvolvimento de seus trabalhos. As pesquisas internas da empresa demonstram que os colaboradores estão extremamente satisfeitos com o atendimento prestado pelas *softwarehouses*, com quem a Sondotécnica tem a tradição de estabelecer parcerias de pesquisa e desenvolvimento, seja por meio do Tech Lab, o setor dedicado à P&D em BIM e Inovação da empresa, ou pelos diversos departamentos e contratos.

A pesquisa relatada neste artigo tem origem em um problema encontrado por especialistas que atuam na área de orçamentação BIM de um dos contratos da empresa. Ao realizar um dos procedimentos de extração de quantidades a partir de modelos BIM com uso de softwares de mercado, foram percebidas inconsistências e erros relacionados ao cálculo de áreas em uma pequena, porém significativa, parcela dos elementos analisados. Os principais problemas referem-se a:

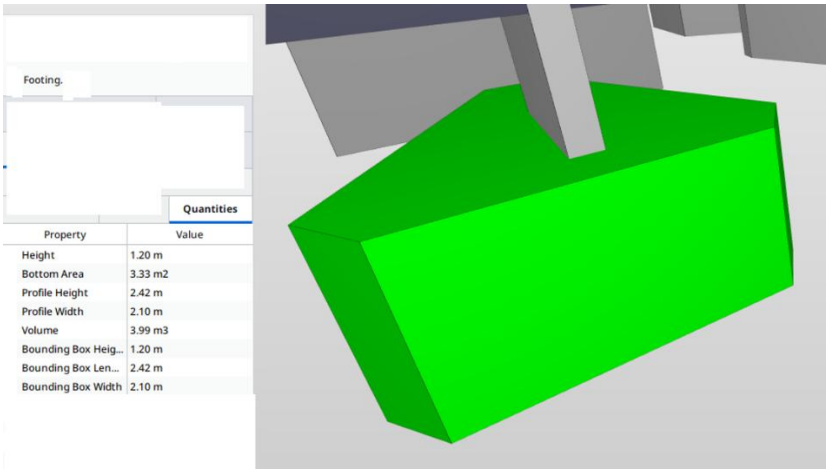
- Ausência do cálculo da área da face principal de elementos de classe *IfcCovering*, utilizados para representar serviços de aplicação de revestimento e pintura, por exemplo, posicionado de forma perpendicular ao plano de chão (Figura 1).
- Ausência do cálculo da área da face de topo de elementos da classe *IfcFooting*, o que inviabiliza o cálculo de apiloamento, por exemplo, necessário para a orçamentação do serviço de execução de blocos de fundação (Figura 2).

Figura 1. Ausência do cálculo de área de face de um IfcCovering na vertical.



Fonte: os autores.

Figura 2. Ausência do cálculo da área da face de topo de elementos da classe *IfcFooting*.



Fonte: os autores.

O *Industry Foundation Classes* (IFC) é um padrão internacional aberto que oferece um esquema de dados para descrever os objetos que fazem parte do universo da construção civil e infraestrutura, adotado como norma brasileira pela ABNT em 2023 [11] . A descrição geométrica em IFC dos elementos da construção pode ser realizada de vários modos [12], e nem todos são corretamente interpretados pelos softwares de mercado.

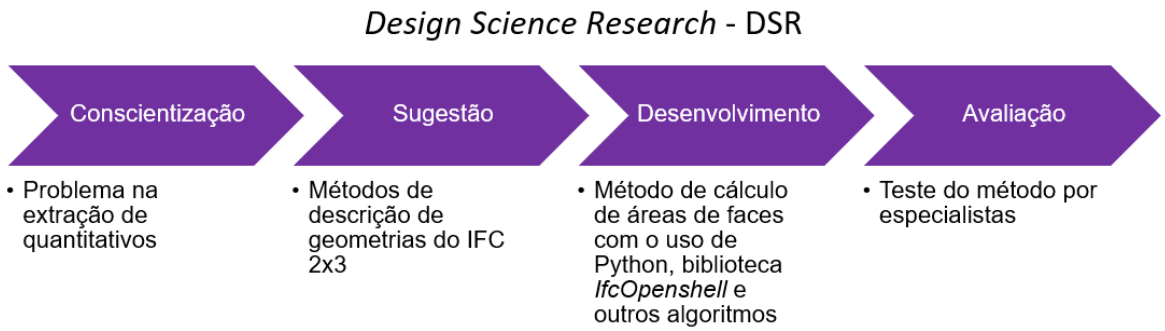
OBJETIVO

O objetivo da pesquisa apresentada por este artigo foi desenvolver algoritmos para o cálculo de áreas de elementos que foram geometricamente descritos em IFC utilizando métodos não-interpretados pelos softwares de mercado. Como objeto de estudo foram utilizados elementos das classes IfcCovering e IfcFooting que fazem parte de modelos IFC de arquitetura e estrutura entregues ao departamento de orçamentação como parte de um projeto de habitação de interesse social (HIS), composto por um edifício de 10 pavimentos, com 37 unidades habitacionais, recepção e área de lazer.

MÉTODO

O método aplicado foi o *Design Science Research* (DSR) [13], que visa a buscar uma solução para um determinado problema. Foi desenvolvido um artefato na forma de método, que se apresenta como um conjunto de passos (algoritmo) usado para executar uma tarefa. O seguinte procedimento foi adotado: conscientização, sugestão, desenvolvimento, avaliação e conclusão (Figura 3).

Figura 3. Estrutura do método utilizado na pesquisa.



Fonte: os autores.

CONSCIENTIZAÇÃO

Na etapa de conscientização, buscou-se compreender a problemática, que se refere ao cálculo de áreas de topo de superfícies de geometrias não-retangulares, conforme apresentado na introdução deste artigo.

SUGESTÃO

Na etapa de sugestão, a pesquisa teve início com a equipe testando a utilização da biblioteca *IfcOpenshell* para a extração das informações desejadas. Como resultado, foi constatado que 85% das áreas das faces foram calculadas corretamente a partir do uso da IfcOpenshell sem nenhum script complementar, conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4. Verificação da eficácia do uso do IfcOpenshell na análise dos modelos IFC de pesquisa.

Rótulos de Linha	Sim	Não	Total Geral
2021-005-06-00-AQ-BI-P7-3D-001-R3.ifc	19%	81%	100,00%
2021-005-06-00-AQ-CG-P7-3D-001-R1.ifc	76%	24%	100,00%
2021-005-06-00-AQ-CL-P7-3D-001-R2.ifc	86%	14%	100,00%
2021-005-06-00-AQ-GU-P7-3D-001-R1.ifc	93%	7%	100,00%
2021-005-06-00-AQ-IM-P7-3D-001-R3.ifc	68%	32%	100,00%
2021-005-06-00-AQ-LI-P7-3D-001-R1.ifc	100%	0%	100,00%
2021-005-06-00-AQ-LI-P7-3D-002-R1.ifc	100%	0%	100,00%
2021-005-06-00-AQ-TE-P7-3D-001-R3.ifc	85%	15%	100,00%
2021-005-06-00-AQ-TO-P7-3D-002-R2.ifc	84%	16%	100,00%
2021-005-06-00-ET-CO-P7-3D-001-R5.ifc	0%	100%	100,00%
2021-005-06-00-ET-TO-P7-3D-001-R5.ifc	0%	100%	100,00%
2021-005-06-00-GT-00-P7-3D-001-R3.ifc	59%	41%	100,00%
2021-005-06-00-PG-IM-P7-3D-001-R3.ifc	14%	86%	100,00%
2021-005-06-00-UB-VP-P7-3D-000-R0.ifc	21%	79%	100,00%
2021-005-10-00-AQ-ED-P7-3D-001-R3.ifc	92%	8%	100,00%
2021-005-10-00-AQ-IM-P7-3D-001-R3.ifc	64%	36%	100,00%
2021-005-10-00-ET-00-P7-3D-001-R3.ifc	0%	100%	100,00%
2021-005-10-00-GT-00-P7-3D-001-R0.ifc	78%	22%	100,00%
2021-005-10-00-PG-00-P7-3D-001-R2.ifc	10%	90%	100,00%
2021-005-10-00-TR-PT-P7-3D-002-R0.ifc	0%	100%	100,00%
2021-005-26-00-AQ-ED-P7-3D-001-R3.ifc	90%	10%	100,00%
2021-005-26-00-AQ-IM-P7-3D-001-R3.ifc	39%	61%	100,00%
2021-005-26-00-ET-IF-P7-DE-001-R4.ifc	0%	100%	100,00%
2021-005-26-00-GT-00-P7-3D-001-R0.ifc	78%	22%	100,00%
2021-005-26-00-PG-00-P7-3D-001-R3.ifc	4%	96%	100,00%
2021-005-26-00-UB-VP-P7-3D-000-R0.ifc	0%	100%	100,00%
Total Geral	**85%**	**15%**	**100,00%**

Fonte: os autores.

A partir de então, investigou-se os métodos de descrição de geometrias utilizada pelo IFC 2x3, o formato de entrega dos arquivos recebidos pelo setor de orçamentos. Para tanto, uma revisão bibliográfica foi realizada, com destaque para os trabalhos de Zlatanova et al. [12], Lattuada [14] a definição da classe *IfcGeometricModelResource* da especificação técnica IFC2x3 [15] e a versão draft da norma ISO 10303-42:1992 [16].

A partir dos estudos da bibliografia, um script em Python foi elaborado para identificar quais tipos e subtipos de geometrias estavam sendo utilizados nos modelos IFC a serem analisados, de forma a verificar qual tipo/subtipo de maior ocorrência, para dar prioridade à equipe. Ao se analisar os subtipos de representação geométrica, foi constatado o script de cálculo de áreas não conseguia interpretar as faces de elementos representadas pelo subtipo "*IfcArbitraryClosedProfileDef*", à exceção de 1 indivíduo (que se tratava de um IfcCovering na horizontal, representando uma soleira), conforme apresenta a Figura 5.

Figura 5. Verificação de quais tipos/subtipos de maior recorrência e que não tem suas áreas de faces corretamente interpretadas pelo IfcOpenshell.

Rótulos de Linha	Sim	Não	Total Geral
IfcCovering	**83%**	**17%**	**100,00%**
IfcRectangleProfileDef	99%	1%	100,00%
IfcArbitraryClosedProfileDef	1%	99%	100,00%
IfcCircleProfileDef	0%	100%	100,00%
IfcArbitraryProfileDefWithVoids	0%	100%	100,00%
IfcFooting	**58%**	**42%**	**100,00%**
IfcRectangleProfileDef	100%	0%	100,00%
IfcArbitraryClosedProfileDef	0%	100%	100,00%
IfcWall	**95%**	**5%**	**100,00%**
IfcRectangleProfileDef	100%	0%	100,00%
IfcArbitraryClosedProfileDef	0%	100%	100,00%
IfcWallStandardCase	**96%**	**4%**	**100,00%**
IfcRectangleProfileDef	100%	0%	100,00%
IfcArbitraryClosedProfileDef	0%	100%	100,00%
Total Geral	**85%**	**15%**	**100,00%**

Fonte: os autores.

Desta forma, a equipe percebeu que a solução de mercado não apresenta os cálculos relacionados às classes *IfcCovering* e *IfcFooting* conforme a demanda da orçamentação, mas é capaz de calcular áreas dos demais objetos independentes da sua formação geométrica.

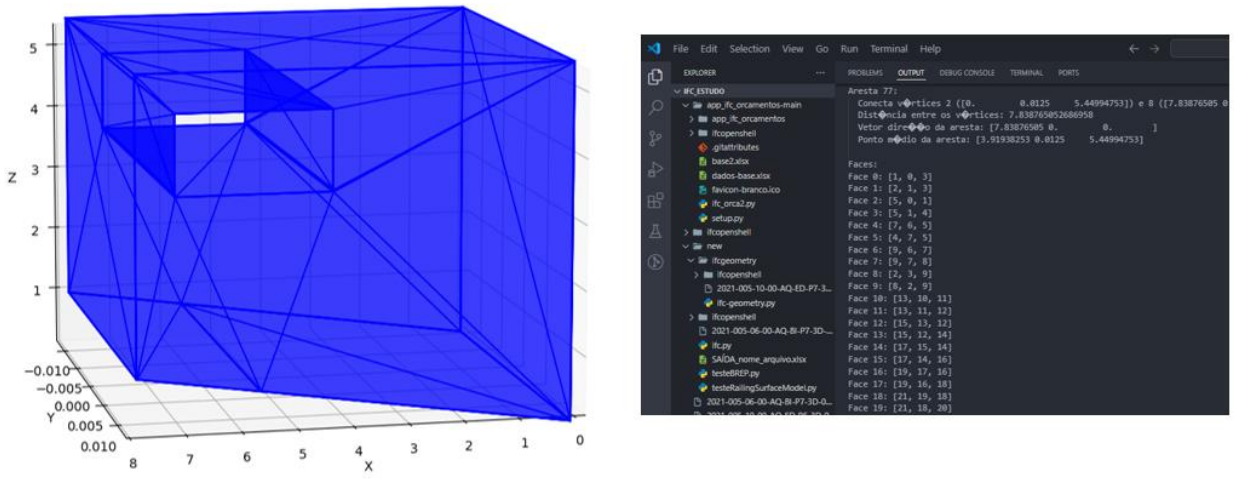
A solução *IfcOpenshell* é capaz de identificar e calcular áreas de faces de qualquer elemento em qualquer posição (na horizontal ou vertical), porém só é capaz de calcular, diretamente, elementos descritos pela classe *IfcRectangleProfileDef*.

Sendo assim, uma vez que nenhuma das soluções testadas atendeu completamente à demanda, a equipe partiu para o desenvolvimento de scripts complementares à biblioteca *IfcOpenshell*.

DESENVOLVIMENTO

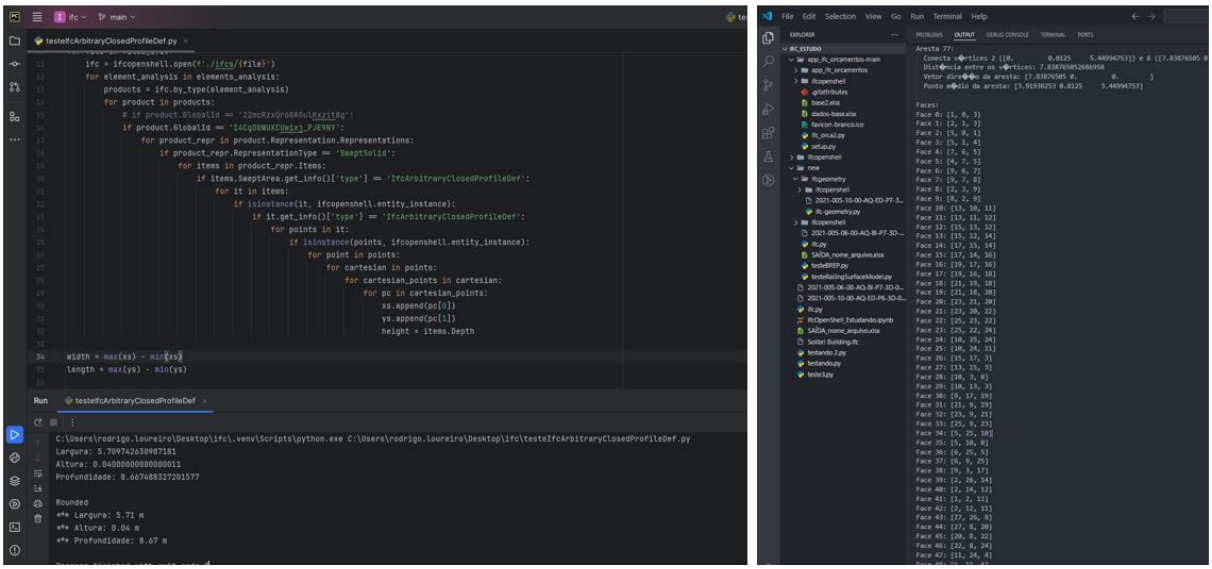
Na etapa de desenvolvimento, a construção do algoritmo foi aperfeiçoada com o auxílio de outras bibliotecas além da IfcOpenshell, como *shapely*, *matplotlib*, *numpy*, *openpyxl*, entre outras. Para o cálculo da área dos polígonos representados pelo subtipo *IfcArbitraryClosedProfileDef*, foi necessário desenvolver um script que utiliza a fórmula do cadarço [17], amplamente usada em ferramentas de automação de cálculos geométricos no setor de arquitetura e engenharia, conforme ilustram as Figuras 6 e 7. Para verificar a validade do script, os resultados foram confrontados com os valores informados por softwares de mercado em campos semelhantes (Figuras 8 e 9).

Figura 6. Resultados preliminares da investigação de áreas de faces com o uso da fórmula Shoelace.



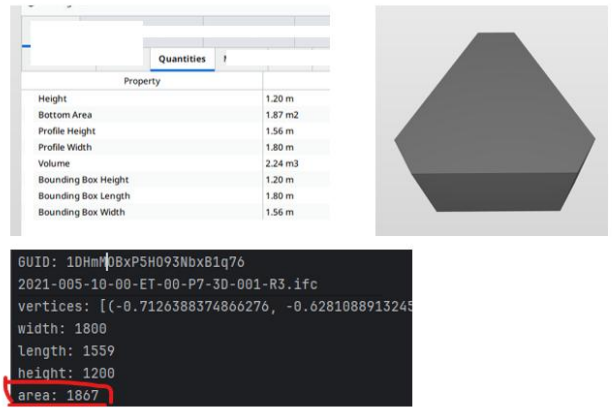
Fonte: os autores.

Figura 7. Telas que trechos do script desenvolvido.



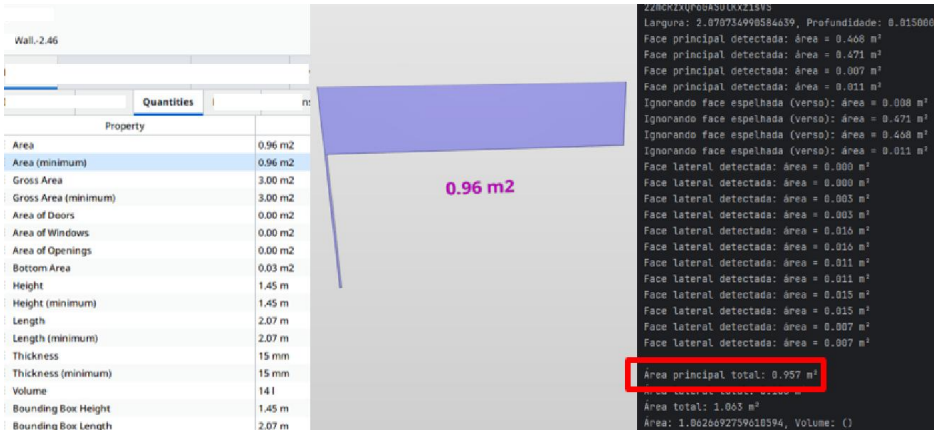
Fonte: os autores.

Figura 8. Validação do script para cálculo de faces descritos pelo subtipo IfcArbitraryClosedProfileDef.



Fonte: os autores.

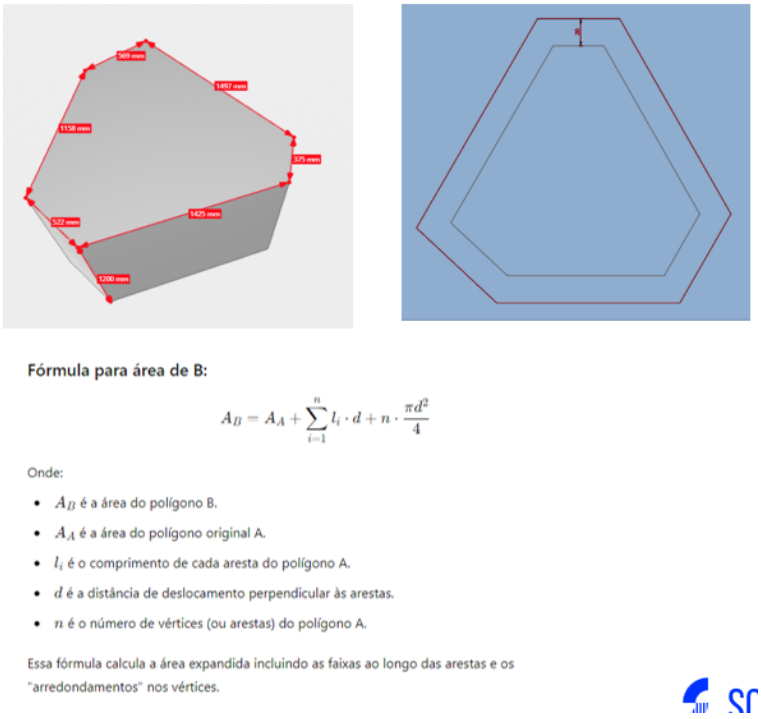
Figura 9. Validação do script para cálculo de faces descritos pelo subtipo *IfcArbitraryClosedProfileDef* em *IfcCovering* posicionado na vertical.



Fonte: os autores.

Uma vez que o problema do cálculo de faces de elementos de perfil não-retangular foi resolvido, a equipe passou a tratar do desenvolvimento de cálculos derivados das áreas de faces recém-encontradas. Um dos cálculos que passou a ser automatizado foi o do apiloamento. Neste caso, o script utiliza uma abordagem geométrica baseada no teorema de Pitágoras e nas propriedades de deslocamento de arestas (Figura 10). A Figura 11 apresenta o resultado do script, que é uma planilha no formato Excel com todos os elementos listados e os cálculos todos realizados.

Figura 10. Abordagem utilizada para o desenvolvimento do script para o cálculo de apiloamento.



Fonte: os autores.

Figura 11. Resultado do script completo: extração de quantidades e cálculos derivados.

ARQUIVO IFC	GUID	TYPE	SH_NOME ELEMENTO	SH_ID	ALTURA TOTAL	COMP. TOTAL	PROF.	ÁREA	PERÍMETRO	ESCAVAÇÃO	APILOAMENTO	FORMAS	CONCRETO MAGRO	CONCRETO	IMPERM.	REATERRO	DESCARTE DE TERRA
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKQ	IfcFooting	B1	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	0,8	1,84	6,2	3,53	3,21	6,51	0,09	1,93	8,35	1,5	2,02
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKP	IfcFooting	B2	sh_ed_02_05_10	0,85	0,8	0,8	0,64	3,2	1,26	1,41	2,72	0,03	0,54	3,36	0,69	0,58
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKO	IfcFooting	B3	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	0,8	1,84	6,2	3,53	3,21	6,51	0,09	1,93	8,35	1,5	2,02
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKV	IfcFooting	B4	sh_ed_02_05_10	0,85	0,8	0,8	0,64	3,2	1,26	1,41	2,72	0,03	0,54	3,36	0,69	0,58
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKU	IfcFooting	B5	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	2,3	5,29	9,2	7,98	7,26	9,66	0,26	5,55	14,95	2,16	5,82
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKS	IfcFooting	B7	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	0,8	1,84	6,2	3,53	3,21	6,51	0,09	1,93	8,35	1,5	2,02
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKJ	IfcFooting	B8	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	0,8	1,84	6,2	3,53	3,21	6,51	0,09	1,93	8,35	1,5	2,02
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKI	IfcFooting	B9	sh_ed_02_05_10	0,85	0,8	0,8	0,64	3,2	1,26	1,41	2,72	0,03	0,54	3,36	0,69	0,58
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKH	IfcFooting	B10	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	2,3	5,29	9,2	7,98	7,26	9,66	0,26	5,55	14,95	2,16	5,82
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKG	IfcFooting	B11	sh_ed_02_05_10	0,85	0,8	0,8	0,64	3,2	1,26	1,41	2,72	0,03	0,54	3,36	0,69	0,58
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKN	IfcFooting	B12	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	0,8	1,84	6,2	3,53	3,21	6,51	0,09	1,93	8,35	1,5	2,02
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKM	IfcFooting	B13	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	0,8	1,84	6,2	3,53	3,21	6,51	0,09	1,93	8,35	1,5	2,02
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKL	IfcFooting	B14	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	2,3	5,29	9,2	7,98	7,26	9,66	0,26	5,55	14,95	2,16	5,82
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKK	IfcFooting	B15	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	0,8	1,84	6,2	3,53	3,21	6,51	0,09	1,93	8,35	1,5	2,02
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKB	IfcFooting	B16	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	2,3	5,29	9,2	7,98	7,26	9,66	0,26	5,55	14,95	2,16	5,82
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKA	IfcFooting	B17	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	0,8	1,84	6,2	3,53	3,21	6,51	0,09	1,93	8,35	1,5	2,02
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbK9	IfcFooting	B20	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	0,8	1,84	6,2	3,53	3,21	6,51	0,09	1,93	8,35	1,5	2,02
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbK8	IfcFooting	B21	sh_ed_02_05_10	0,85	2,42	2,1	3,33	7,27	4,42	4,91	6,18	0,17	2,83	9,51	1,42	3
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKF	IfcFooting	B22	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	0,8	1,84	6,2	3,53	3,21	6,51	0,09	1,93	8,35	1,5	2,02
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKE	IfcFooting	B23	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	0,8	1,84	6,2	3,53	3,21	6,51	0,09	1,93	8,35	1,5	2,02
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKD	IfcFooting	B24	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	0,8	1,84	6,2	3,53	3,21	6,51	0,09	1,93	8,35	1,5	2,02
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbKC	IfcFooting	B27	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	2,3	5,29	9,2	7,98	7,26	9,66	0,26	5,55	14,95	2,16	5,82
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbK3	IfcFooting	B25	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	2,3	5,29	9,2	7,98	7,26	9,66	0,26	5,55	14,95	2,16	5,82
2021-004-LB-11-ET-E	0tg2OB_ObF2vfldibapbK2	IfcFooting	B26	sh_ed_02_05_10	1,05	2,3	0,8	1,84	6,2	3,53	3,21	6,51	0,09	1,93	8,35	1,5	2,02

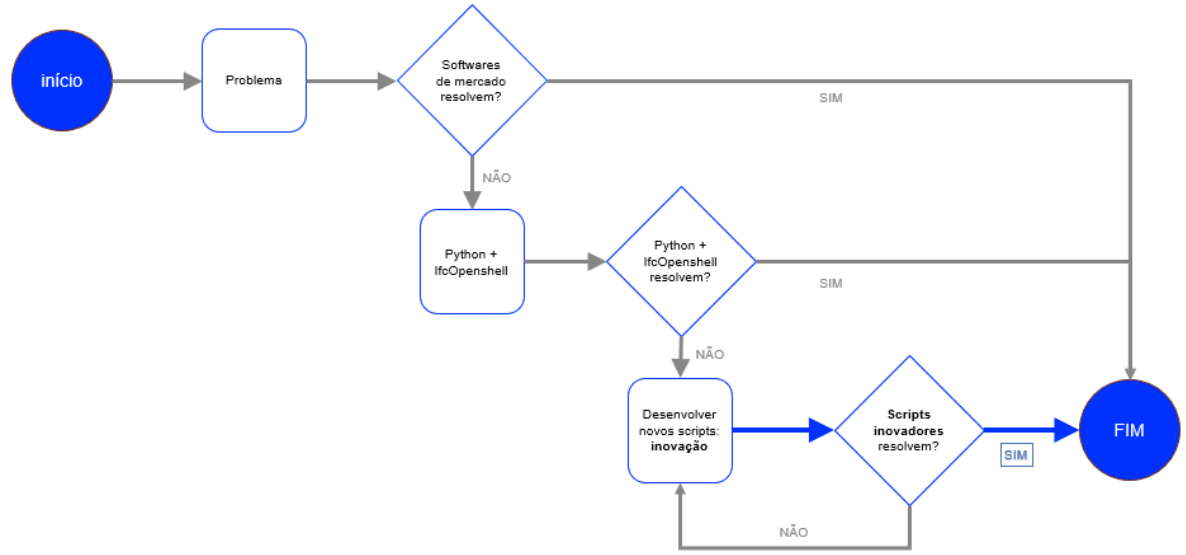
Fonte: os autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado, verificou-se que o conjunto de scripts desenvolvidos, junto com a utilização do IfcOpenshell, ofereceram maior precisão com relação à extração dos dados. Na comparação com os dados extraídos a partir de softwares de mercado, verificou-se que a precisão na extração das áreas das fundações de formato não retangular aumentou em 33%. Além disso, verificou-se uma redução do tempo de extração de informações para 95%. O cálculo das áreas e volumes dos blocos de fundação pelo método manual demorava 1 dia e foi reduzido para 20 minutos com o uso do algoritmo desenvolvido.

Como forma de consolidar o processo utilizado, o seguinte diagrama foi desenvolvido. Pretende-se utilizar este diagrama em apresentações e treinamentos de equipes, como forma de resumir o método utilizado nesta pesquisa (Figura 12).

Figura 12. Mapeamento da abordagem utilizada para solucionar o problema.



Fonte: os autores.

CONCLUSÃO

A pesquisa permitiu à equipe reforçar a compreensão de que, com relação ao processo de análise orçamentária, existem particularidades e características diretamente conectadas aos métodos utilizados por determinada região geográfica ou determinado contratante, e que tais requisitos muito provavelmente não estarão contemplados em softwares de mercado, por mais que estes sejam avançados e completos.

Por outro lado, um setor de orçamentação que pretende utilizar BIM não pode ter seu processo de automação de análises limitado pelos recursos-padrão dos softwares de mercado; não há como esperar futuras atualizações, por exemplo, uma vez que existem prazos a serem cumpridos. E não há como deixar de realizar tais cálculos, ou fazê-los de forma aproximada, apenas porque a solução de mercado não atende à demanda porque, por óbvio, as informações a serem fornecidas pelos orçamentistas estão atreladas à sua Responsabilidade Técnica, pela qual respondem legalmente.

Sendo assim, como forma de atender ao setor de orçamentação, concluiu-se que o desenvolvimento da pesquisa agregou mais qualidade e confiabilidade aos resultados que já vinham sendo obtidos com

as soluções BIM de mercado. Os métodos e scripts desenvolvidos agora fazem parte do patrimônio intelectual da empresa e serão aproveitados em outros contratos e adaptados para outros tipos de análise, sempre que necessário.

REFERÊNCIAS

[1] CARNEIRO, V. L.; CAMPOS, A. R. SU. DE AL.; BORJA, L. C. A. EXTRAÇÃO DE QUANTITATIVOS UTILIZANDO O BIM: ESTUDO DE CASO EM UM PROJETO DE EDIFÍCIO EDUCACIONAL. Indústria 5.0: Oportunidades e Desafios para Arquitetura e Construção. Anais... Em: 13o SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO E 4o SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO. Aracaju, SE: ANTAC, 8 nov. 2023. . Acesso em: 3 set. 2024

[2] DE ANDRADE, A. C. C. F. et al. Automatização da conferência de requisitos legais em entregas de BIM. . Em: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Maceió, AL: ANTAC, [s.d.]. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/6246>. Acesso em: 16 out. 2024

[3] MARQUES, B. M. N.; SANTOS, T. S. Estudo comparativo para levantamento de quantitativos de projeto arquitetônico entre métodos convencionais e plataforma BIM. Revista Multidisciplinar do Sertão, v. 03, n. 4, p. 7, out. 2021.

[4] CANZIAN, G. L. M.; LIMA, R. C. A. DE; RIGHI, M. DE M. Uso de um modelo BIM para extração de quantitativos em comparação com o processo usual de uma construtora. Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável. Anais... Em: XIX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Canela, RS: ANTAC, 9 nov. 2022. . Acesso em: 3 out. 2022

[5] BESEN, M. C. MODELAGEM INTELIGENTE (BIM) NO PROCESSO DE LEVANTAMENTO DE QUANTITATIVOS PARA ORÇAMENTO DE UM PROJETO INDUSTRIAL. Dissertação—Joinville, SC: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE, 2017.

[6] SINAENCO; UPM. Guia de boas práticas para a contratação em BIM – Vol. I – Diretrizes gerais. 1. ed. São Paulo: SINAENCO - Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2024. v. 1

[7] GASPAR, J. A. DA M. Auditoria de Modelos BIM. . Simpósio apresentado em XIX SINAOP - Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas. , 22 nov. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.20573.79841>. Acesso em: 13 dez. 2023

[8] MARKETSANDMARKETS. *Building Information Modeling Market Size, Share & Growth*. Reino Unido: Markets and Markets, jul. 2024.

[9] VERIFIED MARKET REPORTS. *Building Information Modeling (BIM) Software Market*. Washington, D.C.: Verified Market Reports, dez. 2024.

[10] SONDOTÉCNICA. Uma indústria de ideias a serviço do progresso. A Empresa, 2024. Disponível em: <https://www.sondotecnica.com.br/sobre-nos/a-sondotecnica/>. Acesso em: 3 out. 2024

[11] ABNT. ABNT NBR ISO 16739-1:2023, *Industry Foundation Classes* (IFC) para o compartilhamento de dados pelas indústrias da construção e da gestão de facilities – Parte 1: Esquema de dados. Rio de Janeiro, RJ., 2023. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=aGdVbml5NVhKMGMxeEN6aklqWTBZamhBRVlrNjlWdmUrQ01FNmN0dlc5UT0=>. Acesso em: 25 dez. 2023

[12] ZLATANOVA, S.; STOTER, J.; ISIKDAG, U. *Standards for Exchange and Storage of 3D Information: Challenges and Opportunities for Emergency Response*. Proceedings. Anais... Em: 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CARTOGRAPHY & GIS. Alberna, BU: *International Cartographic Association*, 2012.

[13] LACERDA, D. P. et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. Gestão & Produção, v. 20, p. 741–761, 2013.

[15] BUILDINGSMART. *IFCGEOMETRICMODELRESOURCE. Standards buildingSMART*, 2005. Disponível em: <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x2/FINAL/HTML/ifcgeometricmodelresource/ifcgeometricmodelresource.html>. Acesso em: 3 out. 2024

[16] ISO. ISO/CD 10303-42:1992, *Industrial Automation Systems and Integration: Product Data Representation and Exchange - Part 42: Integrated Generic Resources. Geometric and Topological Representation*. , 1992.

[17] MEISTER, A. Fórmula de Shoelace. 1769.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Análise automatizada em modelos IFC: o estudo do Código de Obras e Edificações da cidade de São Paulo

Automated analysis in IFC models: study of São Paulo City Building Code

Aline Prado Costa | Sondotécnica | aline.costa@sondotecnica.com.br | 0009-0005-7821-0678
Ana Carolina Contaldi F. de Andrade | Sondotécnica | ana.andrade@sondotecnica.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14476679

Resumo

A análise de modelos em *Industry Foundation Classes* (IFC), acerca da conformidade do projeto com normas, diretrizes e leis, é um processo extenso e trabalhoso que, quando feito de maneira manual, demanda muito tempo. A automatização desta análise colabora para maior qualidade e praticidade, por meio da criação de regras de verificação com uso de diferentes métodos e softwares específicos. O formato IFC consiste em um padrão neutro de arquivos, certificado pela *International Organization for Standardization* (ISO), que permite uma maior interoperabilidade entre diferentes softwares de metodologia *Building Information Modeling* (BIM) e viabiliza alternativas de verificação automatizada que formatos nativos ainda não conseguem oferecer. O objetivo deste estudo é apresentar uma proposta de análise automatizada do Código de Obras e Edificações (COE) da cidade de São Paulo, por meio da utilização do software Solibri Office em uma parceria da Sondotécnica com a empresa CAD Technology (CADTEC). O COE consiste em uma lei municipal da cidade de São Paulo (Lei nº 16.642/17) que disciplina as regras gerais de licenciamento, execução, manutenção e utilização de obras, edificações e equipamentos, e foi escolhida para esse estudo em função de ser considerada a principal legislação que rege a atividade edilícia no município de São Paulo. A automatização da verificação do modelo BIM de acordo com a legislação, foi desenvolvida a partir de uma demanda real por melhorias no processo de gerenciamento e de auditoria dos modelos BIM. Por meio de um processo de interpretação e tradução da legislação, foram identificados todos os itens que eram passíveis de serem transformados em regras. Essa etapa inicial foi fundamental, pois as demais etapas dependeram diretamente de uma tradução objetiva e mensurável. As regras foram aplicadas primeiramente em modelos-teste para aprimoramento da checagem automatizada. Atualmente, mais de 30 (trinta) itens do COE foram convertidos em regras de verificação automatizada. Entre esses itens, aspectos que tratam diretamente sobre dimensionamentos mínimos dos ambientes, quantidades de elementos, recuos, atendimento à diretrizes de acessibilidade, entre outros, foram transformados em regras automatizadas dentro dos modelos em IFC no Solibri Office. A implementação dessas regras se deu de maneira gradual e monitorada junto às equipes do setor de gerenciamento de projetos da Sondotécnica. Ressalta-se que esse tipo de abordagem pressupõe revisões periódicas, uma vez que novos recursos de checagem podem ser explorados e os requisitos de modelagem, solicitados pela contratante aos projetistas, podem ser atualizados. Com a checagem automatizada dos modelos IFC, foi possível reduzir o tempo de conferência do atendimento à legislação com ganho de confiabilidade quanto à auditoria do modelo, uma vez que itens que anteriormente eram verificados por critérios de amostragem, puderam ser checados em sua totalidade e com maior precisão.

Os resultados validaram a solução e deram início a automatização de outras regras para a análise de projeto, permitindo direcionar os esforços para o desenvolvimento e verificação do atendimento aos demais requisitos de qualidade, que expressem diretamente os interesses dos clientes.

Palavras-chave: Auditoria. BIM. IFC. Análise automatizada. Código de Obras e Edificações.

Abstract

The analysis of models in Industry Foundation Classes (IFC) regarding project compliance with standards, guidelines, and laws is an extensive and labor-intensive process that, when performed manually, requires significant time. Automating this analysis contributes to greater quality and practicality by creating verification rules using various methods and specific software. The IFC format consists of a neutral file standard certified by the International Organization for Standardization (ISO), which allows for greater interoperability among different Building Information Modeling (BIM) methodology software and enables the automated verification alternatives that native formats still cannot offer. The objective of this study is to present a proposal for the automated analysis of the Building Code (Código de Obras e Edificações - COE) of São Paulo city, through use of Solibri Office software in partnership with [OMITTED]. The COE is a municipal law of São Paulo city (Law No. 16,642/17) that regulates general rules for licensing, execution, maintenance, and use of works, buildings, and equipment, and was chosen for this study because it is considered the primary legislation governing construction activity in São Paulo city. The automation of BIM model verification according to legislation was developed in response to a real demand for improvements in management and auditing process of BIM models. Through a process of interpreting and translating legislation, all items that could be transformed into rules were identified. This initial step was crucial, as subsequent steps depended directly on objective and measurable translation. The rules were first applied to test models to enhance automated checking. Currently, over 30 items from the COE have been converted into automated verification rules. Among these items, aspects directly related to minimum environment dimensions, quantities of elements, setbacks, compliance with accessibility guidelines, among others, have been transformed into automated rules within the IFC models in Solibri Office. The implementation of these rules was carried out gradually and monitored alongside project management teams at [OMITTED]. It is emphasized that this type of approach requires periodic reviews, as new checking resources may be explored, and modeling requirements requested by contractors from designers may be updated. With automated checking of IFC models, it was possible to reduce time spent verifying compliance with legislation while increasing reliability in model auditing, as items that were previously checked using sampling criteria could now be verified in their entirety and with greater precision. The results validated the solution and initiated automation of other rules for project analysis, allowing for a focus on development and verification of compliance with other quality requirements that directly reflect of clients interests.

Keywords: Audit. BIM. IFC. Automated analysis. Building Code.

INTRODUÇÃO

As análises de projetos para validação de requisitos legais, possui desafios relacionados a suficiência de informações, tempo hábil para verificação e interpretação das complexidades acerca dos textos normativos. Os projetos desenvolvidos segundo a metodologia *Building Information Modeling* (BIM) e suas premissas, tem auxiliado esses processos de análise, especialmente quando exportados para o formato *Industry Foundation Classes* (IFC).

O formato IFC consiste em um padrão neutro de arquivos, certificado pela ISO no ano de 2013 [1]. O IFC permite uma maior interoperabilidade entre diferentes softwares BIM e, quando aplicado à análise de projetos, viabiliza alternativas de verificação automatizada.

Existem diversos usos relacionados aos modelos BIM [2]. Um que se relaciona diretamente com o intuito de verificação do atendimento aos requisitos legais é o *Code Checking and Validation* que permite diferentes abordagens com a aplicação de softwares e ferramentas diversos.

Realizando uma busca pelo tópico "*Code Checking and Validation*" em três bases de busca, Scopus, Science Direct e Web of Science foi possível encontrar uma série de publicações que tratam sobre esse tema. Observa-se que a lógica de organizar e elaborar regras claras e precisas para projetos da área de

construção civil é algo já trabalhado desde a década de 1960 em projetos ainda em 2D [3]. Com a atual disponibilidade de recursos computacionais, essas pesquisas tem evoluído e sido aplicadas à verificação automatizada, por exemplo, de análise de rotas de fuga [4] de sistemas de distribuição de água [5] e para estudo de aprovações legais [6]. As metodologias variam entre a utilização dos softwares de modelagem (nativos), utilização do IFC e utilização de aplicações desenvolvidas especificamente para checagem automatizada de regulamentações de ordem nacional.

Independentemente da metodologia, softwares e ferramentas empregados pelos autores, um ponto em comum e inicial aos processos é a interpretação do regulamento a ser verificado de forma automatizada. As expressões exigem uma tradução humana do que é solicitado, a fim de chegar a um "valor alvo" [4], ou seja, valores quantitativos ou qualitativos que poderão ser adequados a uma automação da análise.

Também são citadas limitações de cada processo, como (i) as informações disponíveis nos modelos [4]; (ii) necessidade de ajustes ao longo do processo, a fim de que os requisitos de modelagem e verificação sejam compatíveis [5]; (iii) troca de dados confiável quando duas ou mais aplicações são envolvidas no método [7]; (iv) domínio sobre os mecanismos e linguagens computacionais [8], entre outras.

O OBJETO DE ESTUDO

A Sondotécnica, por atuar em diversos contratos com gerenciamento e análise de projetos BIM, com foco no formato IFC, constatou a necessidade de auditar os projetos de maneira mais eficaz, considerando a qualidade técnica e de modelagem. Portanto, as validações desses projetos são separadas em duas frentes: a primeira, relacionada aos aspectos técnicos de conformidade com as legislações pertinentes, normas e diretrizes do cliente; e a segunda, relacionada ao georreferenciamento, estrutura IFC, detecção de colisões e análise de informações geométricas e não geométricas dos modelos.

Em parceria com a CAD Technology (CADTEC) outras automatizações já foram desenvolvidas: (i) verificação automatizada sobre a qualidade do modelo – existência e conformidade das informações não geométricas exigidas pela contratante para estarem devidamente inseridas nos modelos; (ii) information take-off – extração de dados geométricos e não geométricos do modelo, conforme template solicitado pela contratante; (iii) verificação automatizada do posicionamento de objetos – como por exemplo, a instalação de pontos da Elétrica em relação a Arquitetura, seguindo medidas pré-estabelecidas em normas ou diretrizes da contratante; (iv) verificação automatizada do Decreto nº 59.885, que estabelecia as diretrizes acerca dos Empreendimentos de Habitação de Interesse Social (EHIS) e que atualmente foi substituído pelo Decreto Nº 63.728 de 10 de Setembro de 2024.

O trabalho realizado com o Decreto nº 59.885 foi o que provocou o interesse em prosseguir com a automatização de análises sobre outras leis e normas, visto que o resultado havia sido bastante positivo. Esse projeto-piloto identificou, traduziu e converteu em regras de conferência, no software Solibri, 42 itens do Decreto de HIS. Com essas regras foi possível atestar ganho em tempo e confiabilidade nas análises, aferir informações que haviam sido entregues em relatórios pelas projetistas contratadas, além do ganho no cumprimento com o decreto em si e a aprovação junto aos órgãos competentes.

Tendo isso em vista, a Sondotécnica determinou o Código de Obras e Edificações (COE) da cidade de São Paulo como o próximo texto a ser estudado para automatização da análise, visto sua relevância e usabilidade para o município (Figura 1). De acordo com o próprio documento, sua definição consiste em um:

"...instrumento que disciplina as regras gerais de licenciamento da atividade edilícia, bem como de fiscalização da execução, manutenção e utilização de obras e equipamentos. Além disso, estabelece normas edilícias específicas a serem observadas no Município de São Paulo, em complemento às fixadas por Normas Técnicas relacionadas à matéria" [9].

Figura 1: Capa do COE ilustrado (município de São Paulo)



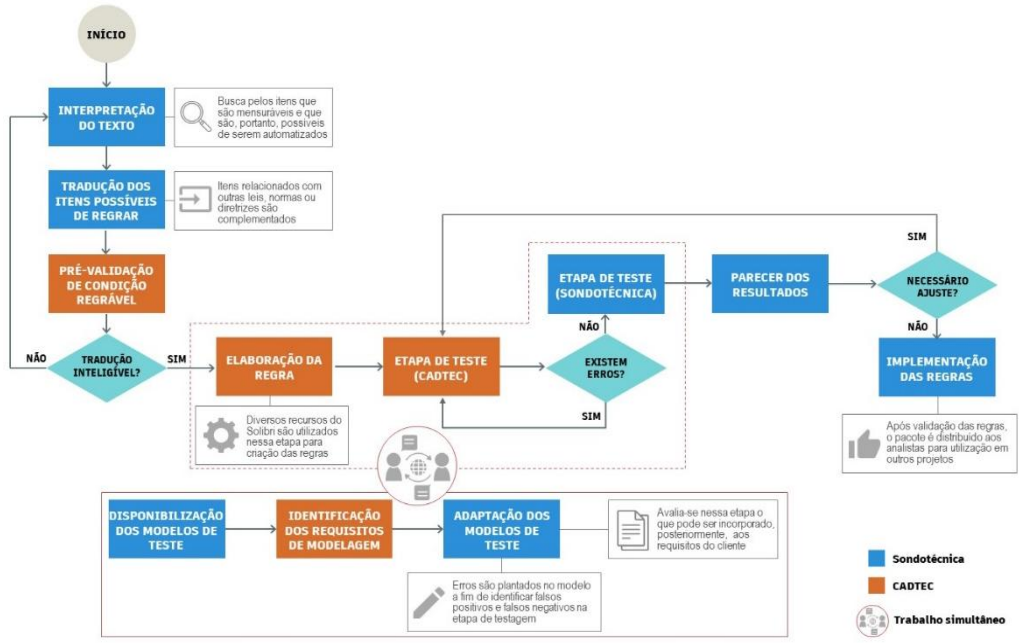
Fonte: SÃO PAULO, 2017.

O objetivo deste estudo é apresentar uma proposta de análise automatizada do Código de Obras e Edificações (COE) da cidade de São Paulo, por meio da utilização do software Solibri Office, desenvolvida em parceria com a CADTEC. A seguir serão descritos o método e os resultados desse processo.

MÉTODO

A Figura 2 apresenta o método utilizado na pesquisa. O fluxo de trabalho é composto, em linhas gerais, pelos seguintes procedimentos: (i) leitura e interpretação da legislação; (ii) identificação e tradução dos itens possíveis de regrar; (iii) elaboração da regra; (iv) etapa de teste; (v) parecer dos resultados e (vi) implementação das regras.

Figura 2: Fluxo de trabalho, em parceria com a CADTEC, para elaboração de regras de verificação automatizada



Fonte: os autores.

O COE abrange diversos aspectos sobre a atividade edilícia e grande parte de seus capítulos abordam questões que não são quantitativas ou mensuráveis, como por exemplo procedimentos administrativos, taxas de pagamento, fiscalização etc. Portanto, a etapa inicial de interpretação do texto da lei foi essencial para identificação dos itens que são viáveis para serem transformados em parâmetros e condições diretas dentro do software Solibri Office.

Além da identificação dos itens, a tradução desses complementa a etapa de interpretação do texto. A tradução consiste em simplificar as diretrizes que constam em cada item, transformando uma linguagem extensa e detalhista, em uma linguagem prática e funcional ao propósito de criação das regras. Além disso, itens que mencionavam ou se correlacionavam com alguma outra lei, decreto, norma ou diretriz que tem maior domínio sobre o tema em questão, foram identificados.

Após alcançar um nível de tradução inteligível, iniciou-se o processo efetivo de elaboração da regra no software de análise Solibri, versão Office. O Solibri tem sido amplamente utilizado para análises automatizadas entre os softwares que são aptos a tal função. Sua interface é bastante acessível, assim como seus recursos, o que permite alcançar um maior número de usuários [10]. Além disso, o próprio software já dispõe de uma biblioteca de regras chamada “SOL” [11], que funcionam como templates que podem ser utilizados como ponto de partida para derivações e elaborações de outras regras.

Todas as regras foram testadas em diferentes modelos, alguns de projetos em desenvolvimento, outros de projetos já em fase de execução e outros modelados especificamente para o teste.

RESULTADOS

Foram desenvolvidas 42 regras de checagem automatizada, provenientes especificamente no “ANEXO I – Disposições Técnicas” do COE, que trata de assuntos como implantação acessibilidade, instalações, estacionamento e condições de aeração-insolação.

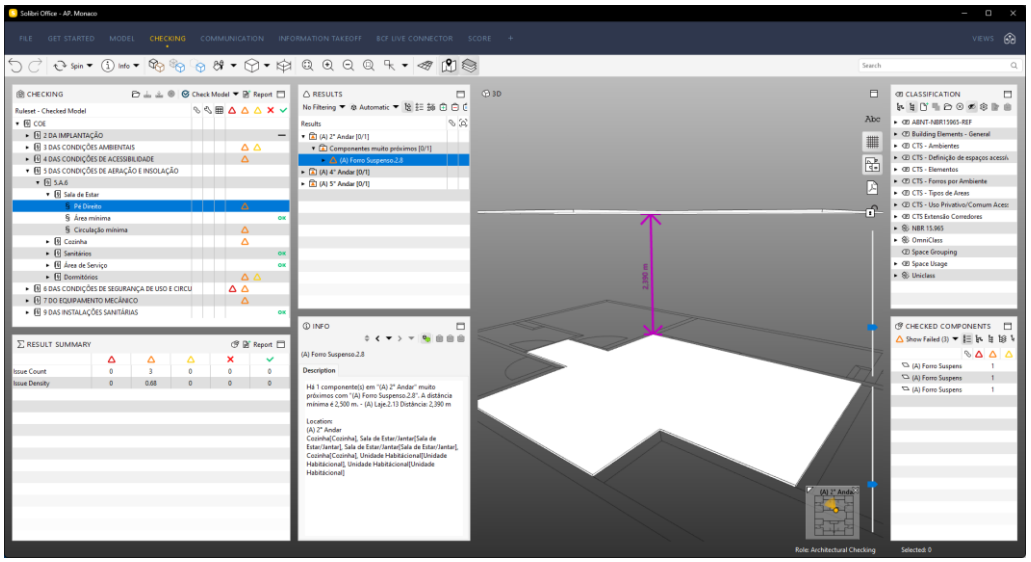
A partir dos recursos disponíveis e meio operante do Solibri Office, é possível identificar categorias sobre o tipo de checagem: (i) checagem de propriedades de elementos; (ii) checagem de medidas de

elementos; (iii) análise de distâncias e recuos; (iv) identificação de condições da edificação; (v) contagem relativa de elementos; (vi) medidas de circulação em ambientes; (vii) existência de determinados espaços no modelo; (viii) existência de itens por ambientes; (ix) distância e conexão direta entre espaços e (x) taxa de aberturas por ambiente.

Uma das exigências gerais, diz respeito ao dimensionamento mínimo de ambientes. No item 5.A.6, do Anexo I do COE, existe uma tabela indicando o pé-direito, área e diâmetro mínimos para diferentes compartimentos de edifícios voltados a habitação, saúde, educação, hospedagem e a qualquer uso. Além de itens tabelados como esse, existem uma série de exigências descritas nos próprios parágrafos da lei.

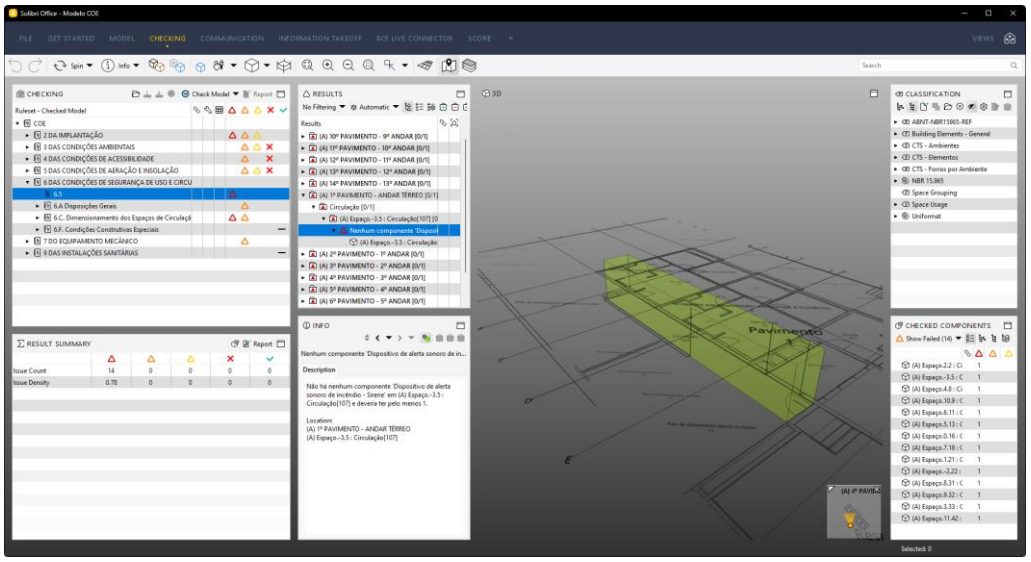
A Figura 3 mostra a aplicação da regra para detecção do pé-direito do ambiente e verificação da conformidade com a legislação. Neste caso, a regra detectou o pé-direito de 2,39m para a sala de estar, o que está em discordância com a regra da categoria (iii) do item 5.A.6 – Anexo I do COE, que exige o mínimo de 2,50m. A Figura 4 mostra a aplicação da regra para detecção de circulação de acesso a apartamentos sem dispositivo de alerta sonoro de incêndio, em consonância com a regra de categoria (viii) existência de itens por ambientes (item 6.5 – Anexo I do COE). A Figura 5 mostra a aplicação da regra para detecção de apartamentos sem medidores de água relacionados, em consonância com a regra de categoria (v) contagem relativa de elementos (item 3.10 – Anexo I do COE). E por fim, a Figura 6 mostra a aplicação da regra para detecção de área construída total e fator de exigência sobre sistema de aquecimento de água por meio de energia solar, conforme a regra de categoria (iv) identificação de condições da edificação (item 3.8 – Anexo I do COE).

Figura 3: Aplicação da regra de detecção de pé-direito do ambiente



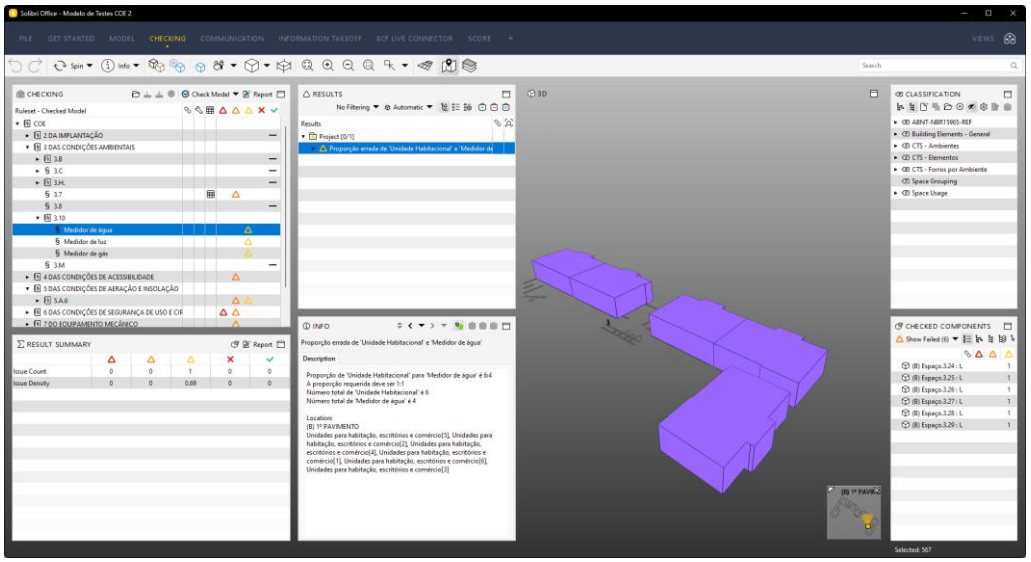
Fonte: os autores.

Figura 4: Detecção de circulação de acesso a apartamentos sem dispositivo de alerta sonoro de incêndio



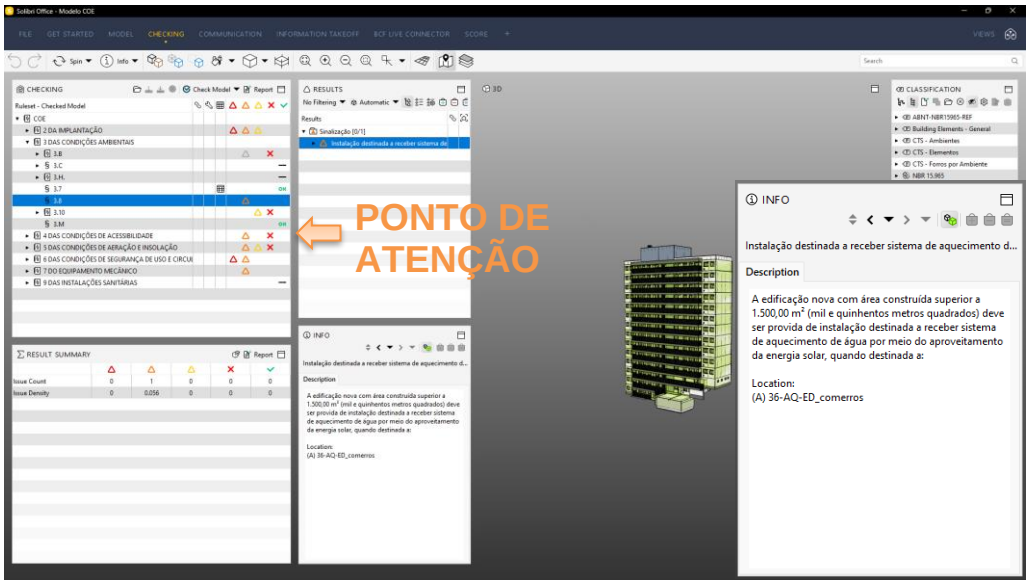
Fonte: os autores.

Figura 5: Detecção de apartamentos sem medidores de água relacionados



Fonte: os autores.

Figura 6: Detecção de área construída total e fator de exigência sobre sistema de aquecimento de água por meio de energia solar



Fonte: os autores.

CONCLUSÃO

Com a implementação das regras, foi percebido pela equipe da Sondotécnica o ganho em tempo e confiabilidade na auditoria do modelo, sendo possível checar os itens regrados em sua totalidade e com maior precisão, eliminando a verificação por amostragem.

O fluxo de trabalho desenvolvido permitiu levantar determinadas necessidades, como por exemplo, a padronização sobre a modelagem, nomenclatura e classificação dos *IfcSpaces*, que são essenciais à qualidade do modelo e da análise. Esse tipo de requisito torna-se imprescindível dentro dos requisitos da contratante, e têm sido discutidos com os clientes da Sondotécnica para que passem a constar nos documentos pertinentes de contratação. Além disso, verificou-se que para trabalhar com arquivos IFC é fundamental que os modelos sejam exportados de maneira correta dos seus softwares de origem para que não faltem informações necessárias aos elementos.

Os resultados validaram a solução e deram início a automatização de outras regras para a análise de projeto, permitindo direcionar os esforços para o desenvolvimento e verificação do atendimento aos demais requisitos de qualidade, que expressem diretamente os interesses dos clientes.

REFERÊNCIAS

[1] BUILDINGSMART. Industry Foundation Classes (IFC)., 2019. Disponível em: <https://www.buildingSMART.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>. Acesso em: 3 maio. 2024

[2] SUCCAR, B.; SALEEB, N.; SHER, W. Model Uses: Foundations for a Modular Requirements Clarification Language. 2016.

[3] FENVES, S.J. Tabular decision logic for structural design. Journal of Structural Engineering, 1966.

[4] FISCHER, S. et al. Automation of escape route analysis for BIM-based building code checking. Automation in Construction, v. 156, p. 105092, dez. 2023.

[5] MARTINS, J. P.; MONTEIRO, A. LicA: A BIM based automated code-checking application for water distribution systems. Automation in Construction, v. 29, p. 12–23, jan. 2013.

[6] NOARDO, F. et al. IFC models for semi-automating common planning checks for building permits. Automation in Construction, v. 134, p. 104097, fev. 2022.

[7] GETULI, V. et al. BIM-based Code Checking for Construction Health and Safety. Procedia Engineering, v. 196, p. 454–461, 2017.

[8] PREIDEL, C.; BORRMANN, A. Automated Code Compliance Checking Based on a Visual Language and Building Information Modeling. Em: 32ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION. Oulu, Finland: 18 jun. 2015. Disponível em: <http://www.iaarc.org/publications/2015_proceedings_of_the_32st_isarc_oulu_finland/automated_code_compliance_checking_based_on_a_visual_language_and_building_information_modeling.html>. Acesso em: 21 out. 2024

[9] SÃO PAULO. Lei no 16.642, Decreto no 57.776. Código de Obras e Edificações. . 2017.

[10] NETO, A. I. D. B. M.; SANTOS, E. T. VERIFICAÇÃO DE REGRAS EM MODELOS BIM: UM ESTUDO DE CASO SOBRE PROJETO DE ARQUITETURA DE ESTAÇÕES METROVIÁRIAS. Anais do VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção - Edificações, Infraestrutura e Cidade: Do BIM ao CIM. Anais... Em: VII ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO - EDIFICAÇÕES, INFRAESTRUTURA E CIDADE: DO BIM AO CIM. Recife, Brasil: Editora Edgard Blücher, nov. 2015. Disponível em: <http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/20578>. Acesso em: 16 maio. 2024

[11] KATER, M.; RUSCHEL, R. C. O potencial da verificação automatizada baseada em regras para as medidas de segurança contra incêndio em BIM. Ambiente Construído, v. 20, n. 4, p. 423–444, dez. 2020.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Aquisição de software BIM pela Prefeitura de Londrina: desafios e melhores práticas

Acquisition of BIM Software by the municipality of Londrina: Challenges and Best Practices

Maria Isabel Pedrosa Custódio | SENAI | custodio.mariaip@gmail.com | 0000-0002-2564-4238

Bruna Cristina Golfeto | SENAI | brunacgolfeto@gmail.com

Matheus Borges Chaves | matheus.chaves@londrina.pr.gov.br

Sérgio Scheer| UFPR | sergioscheer@gmail.com| 0000-0003-3995-9780

DOI: 10.5281/zenodo.14476719

Resumo

O artigo examina a contratação do software BIM Solibri Model Checker pela Prefeitura de Londrina, enfatizando os desafios e as melhores práticas para a aquisição de tecnologias em órgãos públicos. A implementação do BIM no Brasil, impulsionada por legislações federais e estaduais, motivou a adoção dessa metodologia em projetos públicos, assim como na Prefeitura de Londrina. A pesquisa, baseada em um estudo de caso, detalha o processo de escolha e aquisição do Solibri Model Checker por processo de inexigibilidade de licitação, justificada pela falta de alternativas compatíveis e pela venda de representante único. Além disso, discute a necessidade de descrições técnicas, validação jurídica das propostas e adaptações na distribuição de licenças para atender às exigências operacionais do órgão público. O estudo conclui que a contratação de software BIM requer planejamento, participação de especialistas e cumprimento dos aspectos legais para garantir uma implementação bem-sucedida e eficiente.

Palavras-chave: BIM. Contratação Pública. Solibri Model Checker. Inexigibilidade. Londrina.

Abstract

The article examines the procurement of the BIM software Solibri Model Checker by the Municipality of Londrina, highlighting the challenges and best practices for acquiring technology in public institutions. The implementation of BIM in Brazil, driven by federal and state legislation, has motivated the adoption of this methodology in public projects, including in the Municipality of Londrina. The research, based on a case study, details the process of selecting and acquiring the Solibri Model Checker through a non-competitive bidding process, justified by the lack of compatible alternatives and the existence of a sole supplier. Furthermore, it discusses the need for technical specifications, legal validation of proposals, and license distribution adjustments to meet the public agency's operational requirements. The study concludes that BIM software procurement requires careful planning, expert participation, and adherence to legal aspects to ensure a successful and efficient implementation.

Keywords: BIM. Public Procurement. Solibri Model Checker. Non-competitive Bidding. Londrina.

INTRODUÇÃO

A sigla BIM provém da expressão em inglês "*Building Information Modeling*", que se traduz como "Modelagem da Informação da Construção". Essa metodologia utiliza modelos compostos por elementos de construção que contêm informações detalhadas, como características, materiais e dimensões reais. Esses modelos permitem a realização de diversas análises, antecipando problemas que não seriam identificados por métodos tradicionais de elaboração de estudos e projetos de arquitetura e engenharia [12].

Dadas as melhorias que o BIM proporciona na elaboração de projetos e na construção civil em geral, o governo tem implementado ações para incentivar a adoção dessa metodologia. No estado do Paraná, por exemplo, a implementação do BIM nas prefeituras municipais está sendo promovida pela Estratégia BIM BR e pela estratégia estadual.

O primeiro grande marco nesse processo foi o Decreto Federal nº 9.377 [3], instituído pelo Governo Federal, que foi posteriormente revogado e substituído pelo Decreto Federal nº 9.983 [4] e, posteriormente, pelo Decreto nº 11.888 [7]. Apesar das modificações, o novo decreto manteve os objetivos dos anteriores. Esses decretos tratam da Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modeling* e instituem o Comitê Gestor e o Grupo Técnico. Em 2020, foi lançado o Decreto Federal nº 10.306 [5], que estabelece a utilização do BIM em determinados órgãos e entidades da administração pública federal.

O Paraná, alinhado às ações do Governo Federal, instituiu o Decreto Estadual nº 3.080 [10], o qual formaliza a Estratégia Estadual de Fomento e Implantação do *Building Information Modeling* no estado e, assim como o decreto federal, estabelece um Comitê Gestor (CG BIM PR) e um Grupo Técnico (GTEC BIM PR) como responsáveis por implementar a Estratégia BIM PR e gerenciar suas ações.

Nesse contexto legislativo, outro importante feito para a disseminação da metodologia BIM no país foi a inclusão, no texto da Nova Lei de Licitações e Contratos, Lei nº 14.133 [6], da adoção preferencial da metodologia BIM nas licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura.

Como desdobramento direto dessa iniciativa, tem-se aqui no Paraná o Decreto Estadual nº 10.086 [11], cujo Capítulo VII - "Adoção de Inovações e Tecnologias para a Contratação de Obras e Serviços de Arquitetura e Engenharia" inclui, na subseção VII, as tratativas para a contratação utilizando a metodologia do *Building Information Modeling*. Em síntese, o decreto estipulou a adoção gradual do BIM no estado, tornando obrigatória a utilização da metodologia em processos licitatórios para obras financiadas com recursos do Governo Estadual, desde que se enquadrem em pelo menos dois dos critérios estabelecidos.

A Prefeitura do município de Londrina, para atender a esses decretos e leis, formalizou, por meio de um decreto, a instituição da Estratégia Municipal de Disseminação e Implantação do *Building Information Modeling* - Estratégia BIM-LD e criou o Núcleo BIM-LD da Prefeitura Municipal de Londrina [9]. Este núcleo é responsável pela gestão da Estratégia BIM-LD. Criado com o auxílio do Centro de referência BIM do SENAI PR, o Núcleo é responsável pelo plano de implementação do BIM e pela licitação de um projeto piloto em BIM, que representa a primeira experiência estruturada do município nessa metodologia.

No processo de implementação do BIM e no plano de implantação, foram estabelecidas diretrizes para auxiliar na contratação de projetos utilizando essa metodologia, bem como no recebimento, verificação e fiscalização desses projetos pelos responsáveis do Núcleo BIM. Para que os representantes do Núcleo pudessem realizar a verificação e fiscalização dos projetos contratados, foi necessário selecionar softwares BIM compatíveis com o *OpenBIM*, que permitissem a compatibilização, checagem e análise dos modelos BIM. Nesse estágio, os consultores do SENAI PR

apresentaram três soluções disponíveis no mercado brasileiro, e o software escolhido foi o Solibri Model Checker, desenvolvido pela empresa Solibri.

Este artigo aborda a contratação de um software de tecnologia BIM, escolhido pelos representantes de um órgão público, e destaca pontos comuns nas aquisições de softwares tecnológicos pelas prefeituras municipais. É importante ressaltar que, quando os parâmetros não são estabelecidos de forma clara para a aquisição ou contratação de softwares, podem ocorrer diversos transtornos tanto para a gestão quanto para a população envolvida. Esses transtornos podem incluir a contratação de serviços de qualidade inferior às necessidades da gestão e da população, a contratação de serviços com qualidade muito superior às demandas, o que pode elevar os custos, ou ainda a contratação de serviços instáveis e de qualidade inadequada.

METODOLOGIA

A metodologia aplicada foi o estudo de caso, com o recorte escolhido sendo a contratação do software BIM Solibri Model Checker pelo Núcleo BIM da Prefeitura Municipal de Londrina. O estudo foi estruturado de forma a: (1) elencar o objetivo da pesquisa; (2) realizar uma pesquisa bibliográfica sobre a temática; (3) estruturar a coleta de dados; (4) executar a coleta de dados; e (5) estruturar a apresentação dos resultados.

A partir das entrevistas, foi possível elencar a forma de contratação do software, assim como as peculiaridades ocorridas no processo de contratação.

FORMAS DE CONTRATAÇÕES PÚBLICAS

As aquisições e contratações públicas, em regra, seguem o dever de licitar, conforme previsto no artigo 37, inciso XXI da Constituição Federal [1]. Para detalhar essa disposição e estabelecer normas gerais para licitações e demais contratações da Administração Pública, além dos princípios que as regem, foi publicada, em 1993, a Lei nº 8.666 [2], substituída em 2021 pela Lei nº 14.133 [6].

De acordo com a nova Lei de Licitações e Contratos, as modalidades de licitação são: pregão, concurso, leilão e diálogo competitivo. Além disso, a Administração pode utilizar procedimentos auxiliares previstos no art. 78 desta lei, como credenciamento e registro de preços [6].

Quando o objeto demandado só pode ser fornecido por um único fornecedor ou, no caso estudado, por um único software, a legislação permite a contratação direta por inexigibilidade, desde que o órgão público comprove a inviabilidade de competição, seja por declaração ou contrato de exclusividade, ou por declaração do próprio fabricante [6].

A Prefeitura Municipal de Londrina, além de normatizar a utilização do BIM para atender às exigências da Lei nº 14.133 [6] no que diz respeito à metodologia, também regulamentou essa lei por meio do Decreto nº 1462 [8]. Esse decreto estipula que as aquisições devem, ordinariamente, ser realizadas em três fases: preparatória, seleção do fornecedor, e gestão e fiscalização do contrato.

Na fase preparatória, eventos indispensáveis ao processo de contratação, como a realização do estudo preliminar, são conduzidos. É nesse momento que se verifica ou ratifica a necessidade de uma contratação por dispensa ou inexigibilidade de licitação. Além disso, é nessa etapa que o termo de referência é planejado e elaborado, com o objetivo de caracterizar o objeto da licitação com precisão adequada para atender perfeitamente à demanda.

RESULTADOS

CONTRATAÇÃO DO SOLIBRI PELA PREFEITURA DE LONDRINA

O Solibri Model Checker é um software desenvolvido pela empresa Solibri e tem como funcionalidade a compatibilização, checagem e análise de modelos BIM. Além disso, o software auxilia na verificação da qualidade dos modelos BIM, na extração de informações e na visualização dos modelos. Através da criação de regras, ele também ajuda a identificar conflitos entre diferentes disciplinas de projetos.

O Núcleo BIM da Prefeitura de Londrina optou pelo Solibri Model Checker porque este apresenta uma interface intuitiva e facilitadora. O software também possibilita a integração entre diferentes softwares BIM, o que é essencial para o trabalho em OpenBIM.

A contratação do Solibri Model Checker foi realizada por meio de um contrato direto por inexigibilidade, que ocorre quando não é viável ou necessário um processo licitatório. Ou seja, trata-se de um caso em que a licitação por concorrência não poderia ocorrer normalmente, permitindo que a Administração Pública faça a contratação direta.

Esse processo foi necessário, pois, na data da contratação, não foram identificados outros softwares no mercado brasileiro que oferecessem todas as funcionalidades do Solibri Model Checker para as etapas de compatibilização e fiscalização dos modelos BIM em IFC, conforme previsto nos entregáveis do contrato de licitação do projeto piloto.

As características diferenciadas do software precisaram ser bem descritas e alinhadas com os usos específicos que os membros do Núcleo BIM necessitavam. Na Prefeitura de Londrina, assim como em outros órgãos públicos, a contratação de alguns softwares chamados "de prateleira" é facilitada pela recorrência de compra e pelo conhecimento comum sobre as ferramentas. Entretanto, softwares de engenharia e arquitetura geralmente não se enquadram nesses critérios, exigindo uma expertise que muitas vezes só existe no setor técnico responsável. Isso requer suporte na elaboração do termo de referência e nas justificativas legais.

Um ponto de atenção na contratação por inexigibilidade, tanto neste caso quanto em outros similares, foi a validade da proposta enviada pela desenvolvedora do software. O processo de contratação interna de órgãos públicos, como a Prefeitura de Londrina, pode levar meses, e a validade da proposta deve acompanhar esse prazo. Mudanças no reajuste durante o processo podem causar reprovações jurídicas por parte do órgão contratante, especialmente em contratações de softwares cotados em moeda estrangeira devido à flutuação cambial.

É importante que as empresas fornecedoras de software não apresentem valores muito acima do mercado para garantir a validade da proposta por um prazo maior, já que valores excessivos também podem ser um problema na aprovação jurídica da contratação, resultando na rejeição da proposta e no prolongamento do prazo sem a ferramenta necessária.

Outro desafio específico na contratação do Solibri Model Checker foi a confusão gerada pelas notas fiscais, que traziam o cabeçalho da cidade-sede da desenvolvedora, causando mal-entendidos sobre a localidade da prestação do serviço. O processo precisa ser bem detalhado e explicado para evitar interpretações errôneas que possam causar atrasos.

A modalidade de compra, como licenças perpétuas ou aluguel, também é um fator importante. No caso do Solibri, a compra foi feita por período determinado, com as atualizações inclusas. Em casos anteriores, o aluguel de softwares foi impraticável devido ao alto custo total.

Um ponto importante no contrato foi a forma de distribuição da ferramenta. O Solibri Model Checker foi contratado com a possibilidade de múltiplos usuários. Nessa modalidade, um administrador interno da prefeitura pode controlar as licenças e atribuí-las a funcionários ativos, vinculando-as ao e-mail dos colaboradores, permitindo a retirada da licença caso o colaborador deixe o quadro técnico. Isso é especialmente relevante para cargos comissionados. Além disso, a licença funciona em rede online, permitindo o uso remoto e possibilitando o controle de acessos e relatórios de uso.

Outras desenvolvedoras oferecem licenças apenas para uso no domínio do órgão, com a necessidade de "baixa" ao término do uso. Esse tipo de licença não pode ser acessado remotamente e pode causar transtornos aos usuários caso haja esquecimento na devolução da licença.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho desenvolvido, conclui-se que a contratação de softwares BIM por órgãos públicos, como a Prefeitura de Londrina, exige uma atenção específica a diversos aspectos. Entre os principais cuidados, destaca-se a necessidade de verificar a viabilidade de realizar a contratação por meio de licitação, especialmente quando mais de uma empresa desenvolvedora oferece soluções eficientes para atender às demandas do projeto. Quando a contratação direta se torna inevitável, como nos casos em que apenas uma ferramenta demonstra eficiência para resolver o problema proposto, é imprescindível a participação ativa dos técnicos das áreas de engenharia e arquitetura. Esses profissionais devem elaborar um parecer técnico claro e detalhado para justificar a inexigibilidade.

Além disso, é fundamental que a validade das propostas seja compatível com o período necessário para a análise jurídica do órgão contratante, evitando interrupções no processo de aquisição. Da mesma forma, a proposta financeira deve estar alinhada com o valor de mercado, a fim de prevenir a rejeição por valores exacerbados. Em vista disso, torna-se essencial repensar as estratégias de precificação de propostas para órgãos públicos, levando em conta processos de contratação prolongados e a possível flutuação cambial, de forma a minimizar os impactos nos preços e manter a competitividade.

Por fim, a distribuição e gestão das licenças do software contratado devem ser ajustadas à realidade do órgão público, garantindo uma administração eficiente dos acessos e a possibilidade de uso remoto ou em locais estabelecidos. Esses cuidados são fundamentais para assegurar que a implementação de tecnologias BIM nos órgãos públicos seja realizada de maneira eficaz e sustentável, contribuindo para a melhoria da gestão de projetos e da qualidade das obras públicas.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, 1988.

[2] BRASIL. Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993. Institui normas para licitações e contratos da Administração Pública. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 jun. 1993.

[3] BRASIL. Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 maio 2018.

[4] BRASIL. Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia BIM. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 ago. 2019.

[5] BRASIL. Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e entidades da administração pública federal. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 abr. 2020.

[6] BRASIL. Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1 abr. 2021.

[7] BRASIL. Decreto nº 11.888, de 22 de janeiro de 2024. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil e institui o Comitê Gestor da Estratégia BIM BR. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 jan. 2024.

[8] LONDRINA. Decreto Municipal nº 1462, de 2022. Londrina, PR: Prefeitura Municipal de Londrina, 2022.

[9] LONDRINA. Decreto Municipal nº 224, de 2024. Institui a Estratégia Municipal de Disseminação e Implantação do Building Information Modeling – Estratégia BIM-LD. Londrina, PR: Prefeitura Municipal de Londrina, 2024.

[10] PARANÁ. Decreto Estadual nº 3.080, de 2019. Institui a Estratégia BIM PR: “Paraná Rumo à Inovação Digital nas Obras Públicas”. Diário Oficial do Estado do Paraná, Curitiba, PR, 29 mar. 2019.

[11] PARANÁ. Decreto Estadual nº 10.086, de 2022. Diário Oficial do Estado do Paraná, Curitiba, PR, 25 fev. 2022.

[12] SEIL; SENAI. BIM nas prefeituras: primeiros passos para inovação digital nas obras públicas. 1. ed. Curitiba, PR: SEIL; SENAI, 2023.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Automação da modelagem e detalhamento de longarinas protendidas com uso do Dynamo

Automation of modeling and detailing of prestressed beams using Dynamo

Kevin Mauricio Guedes Silva | Sondotécnica Engenharia | kevin.mauricio@sondotécnica.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14476788

Resumo

O processo de projeto de obras de arte especiais, como pontes e viadutos, demanda um grande investimento de tempo. Engenheiros estruturais enfrentam desafios significativos, desde a concepção estrutural até o dimensionamento e detalhamento. Nesses projetos, se destaca a complexidade no cálculo e detalhamento de longarinas protendidas. A determinação da geometria e o detalhamento dos cabos pode se tornar um gargalo em projetos com prazos apertados. Além disso, a repetição de tarefas rotineiras e a necessidade de ajustes manuais podem levar a erros e ineficiências, principalmente em empreendimentos de grande porte e de alta complexidade. Nesse contexto, o desenvolvimento de rotinas de programação pode otimizar o processo de projeto, através da automatização da geração de geometria e do detalhamento das longarinas protendidas, bem como pode auxiliar no ajuste do modelo de acordo com os parâmetros de projeto com maior rapidez. Este artigo tem como objetivo o desenvolvimento de rotinas automatizadas no Dynamo para auxiliar no processo de modelagem e detalhamento de longarinas protendidas. O método utilizado foi o *Design Science Research* (DSR) com vistas ao desenvolvimento de uma solução para otimizar a modelagem e o detalhamento de longarinas protendidas. Foi desenvolvido um artefato na forma de método, que se apresenta como um conjunto passos (algoritmo) usados para executar uma ou mais tarefas. A solução foi composta pelas seguintes etapas: (i) modelagem da obra de arte especial (OAE) no software Autodesk Revit - versão 2024; (ii) desenvolvimento de rotina para o reconhecimento da geometria das longarinas modeladas e exportação para planilha de dimensionamento dos cabos; (iii) rotina para modelagem dos cabos no Revit e (iv) rotina para geração de vistas de detalhamento das longarinas. Foi utilizado como modelo de exemplo, uma ponte composta por 1 (hum) vão isostático de 33 metros de comprimento e longarina com 32 metros. Como resultados, as rotinas desenvolvidas automatizaram: a extração das informações geométricas a partir do modelo BIM para o Excel, a modelagem dos cabos na longarina conforme os dados extraídos e a geração de prancha e inserção das vistas nas posições especificadas. As rotinas desenvolvidas forneceram maior rapidez na geração e no ajuste da geometria dos cabos, integrando-os ao modelo BIM. A modelagem dos cabos na longarina forneceu uma visão clara da localização dos cabos, auxiliando o engenheiro no posicionamento da armadura passiva com maior precisão. Isso não só reduziu o tempo de trabalho e a probabilidade de erros manuais, mas também melhorou a precisão do detalhamento das longarinas. O algoritmo desenvolvido pode, portanto, aumentar a eficiência e a qualidade do projeto estrutural, reduzindo a probabilidade de erros e permitindo uma adaptação mais rápida às mudanças do projeto. Além disso, o procedimento desenvolvido para este caso específico pode ser adaptado para diferentes estruturas e necessidades.

Palavras-chave: Obra de Arte Especial. Protensão. BIM. Programação. Otimização.

Abstract

The design process for special structures, such as bridges and viaducts, demands significant time and expertise. Structural engineers face challenges from the initial structural concept to sizing and detailing, with prestressed girders posing notable complexity in calculation and detailing. Determining geometry and detailing cables can create bottlenecks in projects with tight deadlines. Furthermore, the repetitive nature of routine tasks and the need for manual adjustments increase the likelihood of errors and inefficiencies, particularly in large-scale, high-complexity projects. In this context, programming routines emerge as a solution to optimize the design process by automating geometry generation, girder detailing, and quickly adapting models to project parameters. This article aims to develop automated routines in Dynamo to support the modeling and detailing of prestressed girders. The method used was Design Science Research (DSR), with the goal of creating a solution to streamline girder modeling and detailing. An artifact was developed as a methodological approach, presented in a series of algorithmic steps to accomplish multiple tasks. The solution consists of the following steps: (i) modeling the special structure (OAE) in Autodesk Revit 2024; (ii) developing a routine to recognize the geometry of the modeled girders and export it to a cable sizing spreadsheet; (iii) a routine for cable modeling in Revit; and (iv) a routine for generating detailed views of the girders. A sample model of a bridge with a 33-meter isostatic span and a 32-meter girder was used to test the routines. The developed routines successfully automated the extraction of geometric data from the BIM model to Excel, the modeling of cables within the girder based on the extracted data, and the creation of drawing sheets with views positioned according to specifications. The routines significantly sped up the process of generating and adjusting cable geometry, facilitating BIM model integration. Modeling the cables in the girder provided a precise visual reference, assisting engineers in accurately positioning passive reinforcement. This automation reduced work time and minimized the likelihood of human errors, while improving detailing accuracy for the girders. As a result, the algorithm effectively enhances structural project efficiency and quality, reduces the probability of errors, and enables rapid adjustments to project changes. In addition, the procedure developed for this specific bridge model demonstrates versatility: it can be adapted for different structures and requirements. The automated routines not only address the critical bottlenecks of prestressed girder design but also set a precedent for further application in complex structural design tasks. Through integrating Revit and programming routines in Dynamo, the solution optimizes the design workflow, enabling engineers to produce higher-quality models in a fraction of the time. The method represents a valuable advancement in BIM for structural engineering, offering a more efficient approach to complex design challenges and reinforcing the potential for automation in engineering processes, especially in large infrastructure projects.

Keywords: Bridges. Prestressing. BIM. Programming. Optimization.

INTRODUÇÃO

O processo de projeto de obras de arte especiais, como pontes e viadutos, historicamente demanda um grande investimento de tempo. Engenheiros estruturais enfrentam desafios significativos, desde a concepção estrutural até o dimensionamento e detalhamento. Nesses projetos, se destacam a complexidade no cálculo e detalhamento de longarinas protendidas. A determinação da geometria e detalhamento dos cabos pode se tornar um gargalo em projetos com prazos apertados. Além disso, a repetição de tarefas rotineiras e a necessidade de ajustes manuais podem levar a erros e ineficiências, principalmente em empreendimentos de grande porte e alta complexidade.

Nesse contexto, o uso de ferramentas de automação como o Dynamo, uma plataforma visual de programação integrada ao Revit, surge como uma solução poderosa para otimizar o processo. Por meio da criação de rotinas de programação, engenheiros podem gerar rapidamente a geometria e os detalhes das longarinas protendidas e ajustar o modelo de acordo com os parâmetros de projeto com muito mais agilidade.

Este artigo propõe o desenvolvimento de rotinas em Dynamo para automatizar o processo de modelagem e detalhamento de longarinas protendidas, melhorando a eficiência, reduzindo a probabilidade de erros e permitindo uma adaptação mais rápida às mudanças do projeto. Serão

utilizadas ferramentas da Autodesk, como Revit, em conjunto com planilhas em Excel e linguagens de programação em Python, além de softwares *open-source*.

A implementação dessas rotinas não apenas aumentará a produtividade, mas também promoverá uma abordagem mais integrada ao trabalho, permitindo que os engenheiros se concentrem em atividades mais críticas. A automação proporcionará um fluxo de trabalho mais coeso e alinhado, eliminando as redundâncias que normalmente consomem tempo e recursos. Com a integração entre modelagem, análise e documentação, a qualidade do projeto também será aprimorada.

METODOLOGIA

O método utilizado foi o *Design Science Research* (DSR) com vistas ao desenvolvimento de uma solução para otimizar a modelagem e o detalhamento de longarinas protendidas. Foi desenvolvido um artefato na forma de método, que se apresenta como um conjunto passos (algoritmo) usados para executar uma ou mais tarefas (1). A solução foi composta pelas seguintes etapas: (i) modelagem da obra de arte especial (OAE) no software Autodesk Revit - versão 2024; (ii) desenvolvimento de rotina para o reconhecimento da geometria das longarinas modeladas e exportação para planilha de dimensionamento dos cabos; (iii) rotina para modelagem dos cabos no Revit e (iv) rotina para geração de vistas de detalhamento das longarinas. Foi utilizado como modelo de exemplo, uma ponte composta por 1 (hum) vão isostático de 33 metros de comprimento e longarina com 32 metros.

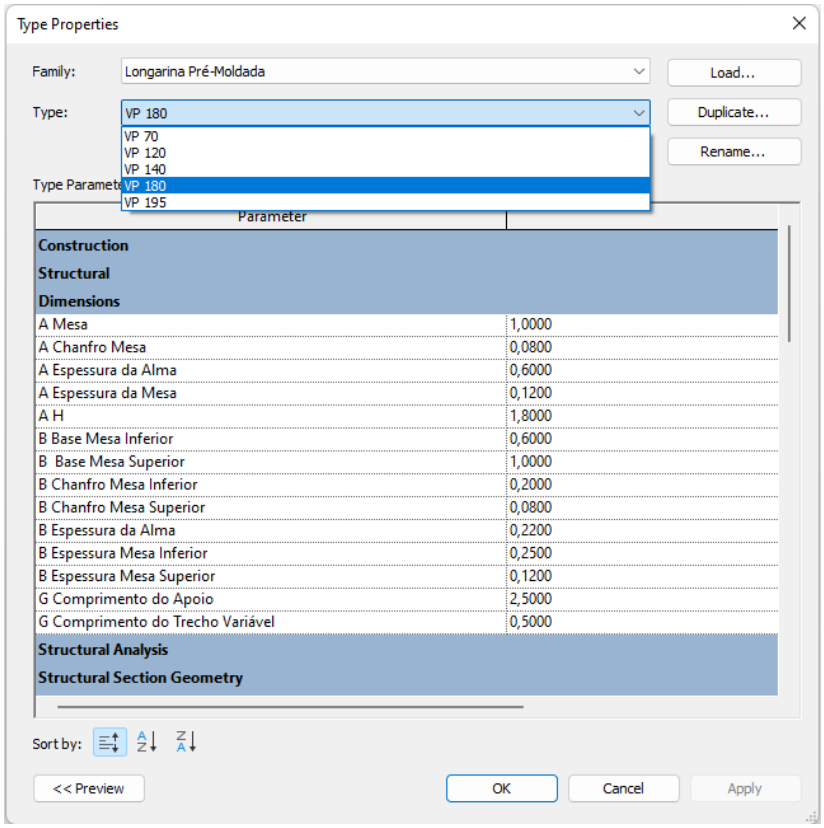
Após o desenvolvimento, as rotinas foram reunidas em um plug-in para Revit, desenvolvido com o suporte do Dynamo e compilado via PyRevit. O PyRevit, como uma ferramenta de código aberto e extensão para o Revit, permite criar um ambiente de trabalho integrado, no qual os usuários têm acesso simplificado a todas as funcionalidades criadas, utilizando uma interface intuitiva e fácil de navegar. Isso beneficia especialmente aqueles que não têm conhecimento em programação Python ou no uso do Dynamo, pois poderão operar as funções do plug-in diretamente na interface do Revit, sem ter contato com o ambiente de programação.

MODELAGEM DA OBRA DE ARTE ESPECIAL

No exemplo apresentado, a obra de arte especial (OAE) consiste em um vão isostático de 33 metros de comprimento, com longarinas de 32 metros. De acordo com o *Manual de Obras de Arte Especiais*, para vão de aproximadamente 30 metros, é recomendada uma altura de 1,80 metros para as longarinas (2). Considerando as especificidades desse projeto, adotou-se essa altura para as longarinas.

Foi desenvolvido um objeto para a longarina seguindo as especificidades do manual, conforme vista na Figura 1.

Figura 1: Parâmetros do objeto longarina no software Autodesk Revit.

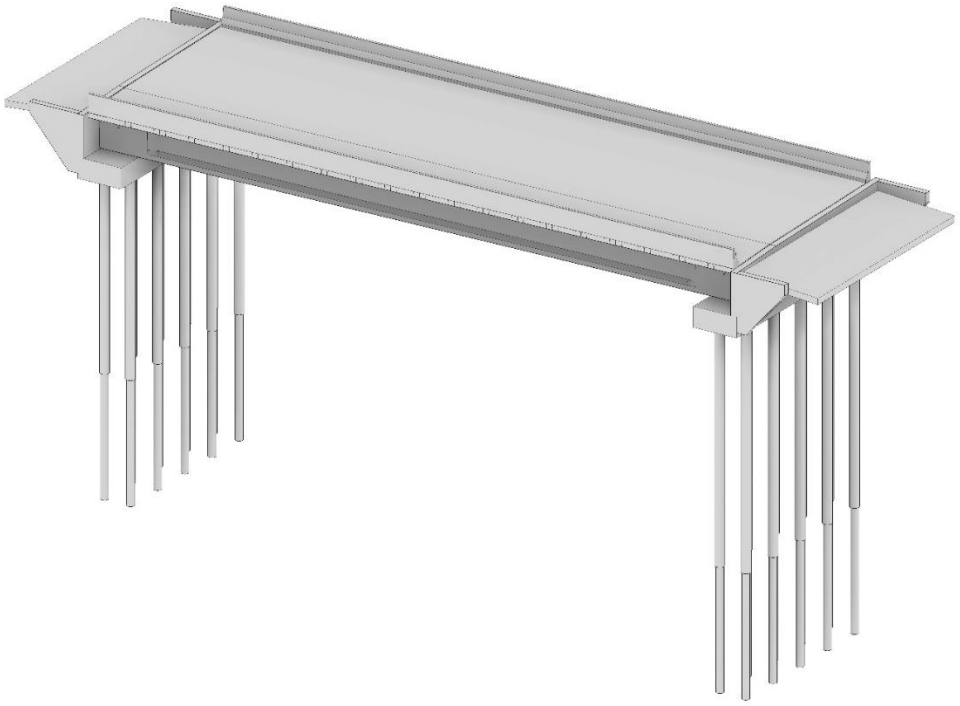


Fonte: O autor.

De posse do objeto da longarina, em conjunto com os demais objetos padrões do Revit, realizou-se a modelagem da OAE. Na Figura 2, é apresentado um exemplo de modelagem utilizando o objeto da longarina.

A modelagem foi parametrizada, pois alterações nas propriedades do objeto da longarina puderam ser rapidamente refletidas em todo o modelo da OAE. Isso foi particularmente útil em fases de revisão ou quando houve necessidade de ajustes para atender a critérios de desempenho estrutural ou requisitos normativos.

Figura 2: OAE modelada no software Autodesk Revit.



Fonte: O autor.

ROTINA DE EXPORTAÇÃO DA GEOMETRIA DA LONGARINA

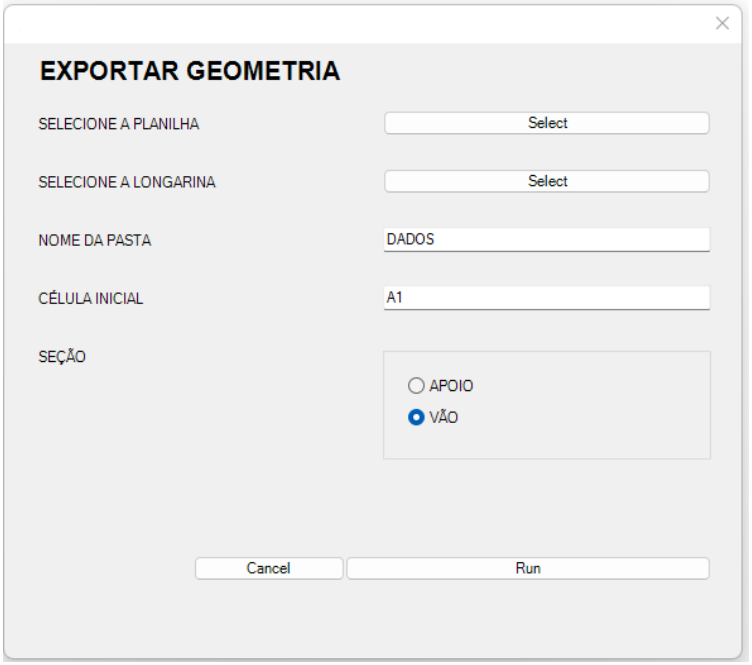
A rotina de exportação da geometria da longarina teve como objetivo reconhecer a geometria das longarinas modeladas e exportá-las para uma planilha em Excel. Para executar a programação, foi utilizada a interface apresentada na Figura 3. Nela, o usuário deve especificar a planilha do Excel em que deseja armazenar os dados, assim como a pasta de trabalho que receberá essas informações. Além disso, é necessário selecionar a longarina desejada e a seção correspondente para a exportação. Essa interface amigável permite que o usuário navegue facilmente pelas opções e insira as informações necessárias de forma intuitiva.

O funcionamento da rotina é exemplificado na Figura 4. Essa rotina é projetada para reconhecer os parâmetros geométricos da família da longarina e preencher automaticamente os campos correspondentes de $\mathbf{b_{inf}}$, $\mathbf{b_{sup}}$ e **h** na planilha.

Após, os dados foram exportados para a planilha do Excel, conforme layout ilustrado na

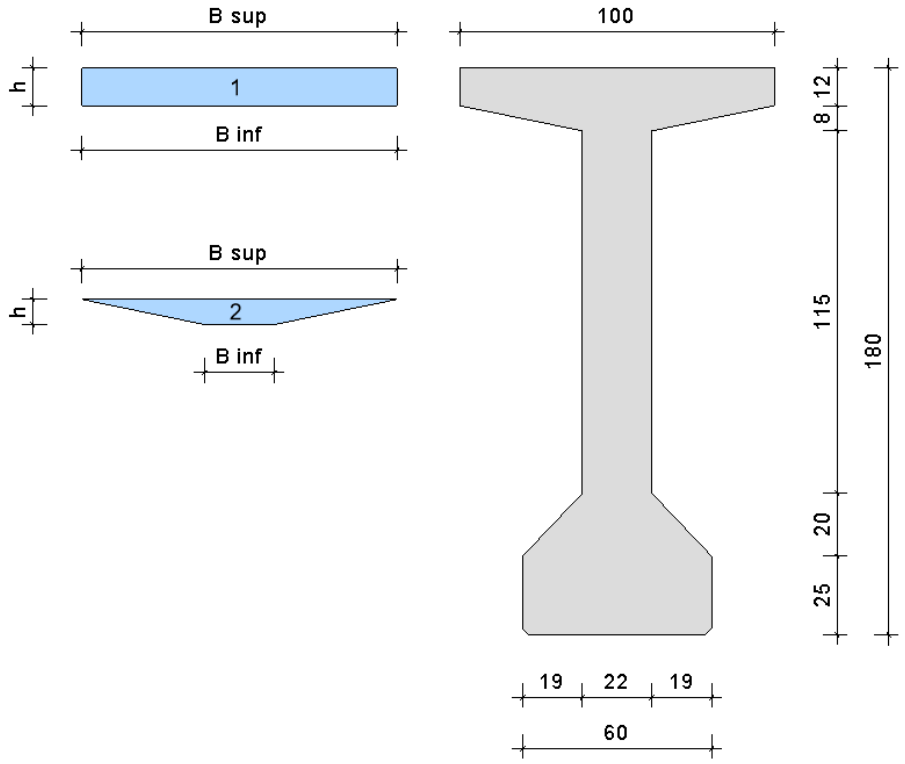
Figura 5. Na exportação dos dados referentes à seção no apoio, por exemplo, a célula inicial foi a célula C6, e para inserir os dados no vão, a célula inicial foi a J6. Essa abordagem permite que os usuários localizem facilmente na sua própria planilha onde os dados foram inseridos.

Figura 3: Interface de seleção dos elementos da rotina de exportação.



Fonte: O autor.

Figura 4: Exemplo seção transversal



Fonte: O autor.

Figura 5: Layout da planilha de dimensionamento

SEÇÃO TRANSVERSAL (1ºFASE)														
NO APOIO						NO MEIO DO VÃO								
	b_{sup} [m]	b_{inf} [m]	h [m]	DADOS			b_{sup} [m]	b_{inf} [m]	h [m]	DADOS	
1				A =	m^2	1				A =	m^2
2				I =	m^4	2				I =	m^4
3				ALTURA =	m	3				ALTURA =	m
4				CG =	m	4				CG =	m
5				CG_{SUP} =	m	5				CG_{SUP} =	m
6				W_{SUP} =	m^3	6				W_{SUP} =	m^3
7				CG_{INF} =	m	7				CG_{INF} =	m
8				W_{INF} =	m^3	8				W_{INF} =	m^3

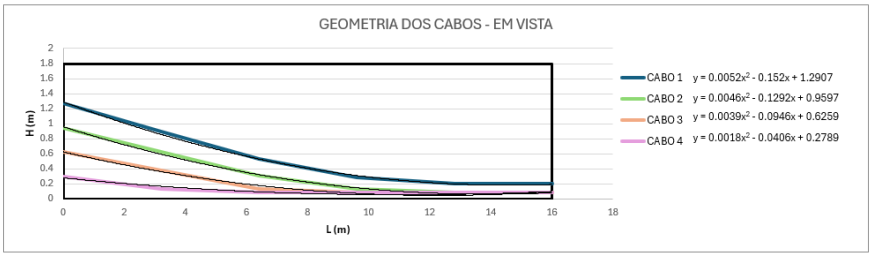
Fonte: O autor.

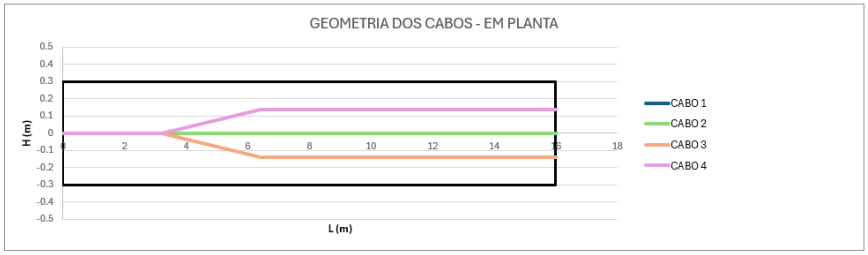
Com os dados da seção transversal inseridos na planilha, a geometria dos cabos foi determinada conforme exemplificado na Figura 6. Para cada seção, foi determinada a altura do cabo e posição em planta. A altura do cabo refere-se à distância vertical entre a base da longarina e o ponto do cabo na seção, enquanto a posição em planta indica a localização horizontal do cabo em relação ao eixo central da estrutura, devendo ser negativo ou positivo, a depender da posição em relação ao eixo.

Figura 6: Geometria dos cabos

L (m)	32

			CABO 1		CABO 2		CABO 3		CABO 4	
SEÇÃO	SEÇÃO TRANSVERSAL	L (m)	V (m)	H (m)	V (m)	H (m)	V (m)	H (m)	V (m)	H (m)
S1	APOIO	0	1.268	0	0.947	0	0.628	0	0.301	0
S2	VÃO	3.2	0.9	0	0.623	0	0.378	0	0.134	0
S3	VÃO	6.4	0.532	0	0.313	0	0.138	-0.14	0.08	0.14
S4	VÃO	9.6	0.281	0	0.129	0	0.08	-0.14	0.08	0.14
S5	VÃO	12.8	0.2	0	0.08	0	0.08	-0.14	0.08	0.14
S6	VÃO	16	0.2	0	0.08	0	0.08	-0.14	0.08	0.14





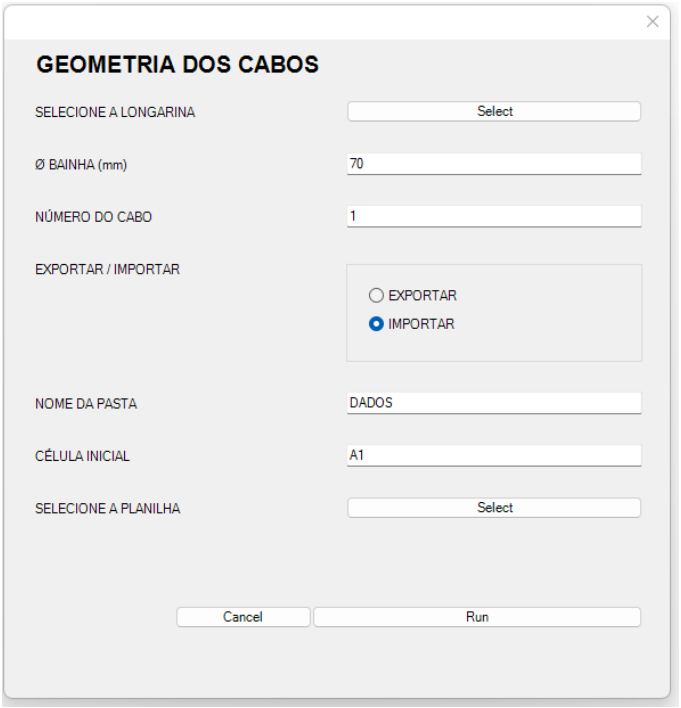
Fonte: O autor.

ROTINA DE MODELAGEM DOS CABOS

A rotina de modelagem dos cabos teve como objetivo modelar o cabo no Revit, a partir da geometria determinada na planilha do Excel. A interface da rotina pode ser vista na Figura 7.

Os dados de entrada da rotina foram a planilha, a longarina, os cabos, os números dos cabos e diâmetro da bainha. Uma característica desta rotina é sua capacidade de operar em ambos os sentidos: ela pode tanto importar os dados de geometria dos cabos do Excel para o Revit, como permitir a exportação da geometria para a planilha.

Figura 7: Rotina de geometria dos cabos



Fonte: o Autor.

ROTINA DE DETALHAMENTO

A rotina de detalhamento foi responsável por criar um eixo estrutural na posição da seção utilizada no cálculo, além de gerar um corte nessa seção específica. Essa rotina também produziu uma vista frontal da obra de arte especial. Após, a rotina posicionou as vistas na prancha: a vista frontal na parte superior, e abaixo as seções. A interface da rotina, vista na Figura 8 teve como dados de entrada a longarina que se deseja detalhar, a escala das vistas e a prancha.

Figura 8: Rotina de detalhamento da longarina



Fonte: O autor.

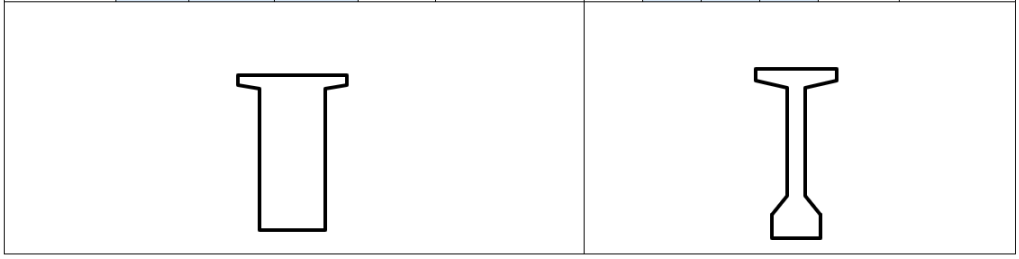
RESULTADOS E DISCUSSÃO

RESULTADO DA ROTINA DE EXPORTAÇÃO DA GEOMETRIA

O resultado da rotina de exportação da geometria pode ser visualizado na Figura 9. Nesta etapa, a rotina preencheu automaticamente todos os campos destacados em azul, com base nas informações inseridas na interface. Como resultado, obteve-se todas as propriedades da seção calculadas automaticamente e organizadas na planilha. Esse processo automatizado não apenas economiza tempo, mas também minimiza a possibilidade de erros de digitação, garantindo que os dados inseridos sejam precisos.

Figura 9: Resultado da rotina de exportação da geometria para o Excel

SEÇÃO TRANSVERSAL													
NO APOIO							NO MEIO DO VÃO						
	b_{sup} [m]	b_{inf} [m]	h [m]	DADOS				b_{sup} [m]	b_{inf} [m]	h [m]	DADOS		
1	1,000	1,000	0,120	A =	1,136	m^2	1	1,000	1,000	0,120	A =	0,654	m^2
2	1,000	0,600	0,042	I =	0,329	m^4	2	1,000	0,220	0,080	I =	0,261	m^4
3	0,600	0,600	1,638	ALTURA =	1,800	m	3	0,220	0,220	1,150	ALTURA =	1,800	m
4				CG =	0,941	m	4	0,220	0,600	0,200	CG =	0,910	m
5				CG_{SUP} =	0,859	m	5	0,600	0,600	0,250	CG_{SUP} =	0,890	m
6				W_{SUP} =	0,383	m^3	6				W_{SUP} =	0,293	m^3
7				CG_{INF} =	0,941	m	7				CG_{INF} =	0,910	m
8				W_{INF} =	0,349	m^3	8				W_{INF} =	0,287	m^3
				P 2 fase=	5,525	m					P 2 fase=	5,988	m



Fonte: o autor.

A planilha possui também uma segunda parte de geometria, que foi a geometria da longarina após a concretagem e solidarização com a laje. Essa etapa foi realizada automaticamente na tabela, após a inserção da espessura da laje e largura da mesa colaborante na célula especificada. O resultado pode ser visto na Figura 10.

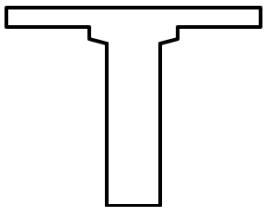
Figura10: Seção transversal na segunda fase

h laje (m)	0.2
L mesa (m)	2.85

SEÇÃO TRANSVERSAL (2°FASE)

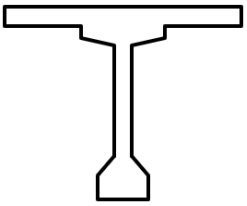
NO APOIO

	b_{sup} [m]	b_{inf} [m]	h [m]	DADOS	
1	2.850	2.850	0.200	A =	1.706 m^2
2	1.000	1.000	0.120	I =	0.679 m^4
3	1.000	0.600	0.042	ALTURA =	2.000 m
4	0.600	0.600	1.638	CG =	1.261 m
5				CG_{SUP} =	0.739 m
6				W_{SUP} =	0.920 m^3
7				CG_{INF} =	1.261 m
8				W_{INF} =	0.539 m^3
				P 2 fase=	5.800 m
				P 1 fase=	2.950 m



NO MEIO DO VÃO

	b_{sup} [m]	b_{inf} [m]	h [m]	DADOS	
1	2.850	2.850	0.200	A =	1.224 m^2
2	1.000	1.000	0.120	I =	0.562 m^4
3	1.000	0.220	0.080	ALTURA =	2.000 m
4	0.220	0.220	1.150	CG =	1.371 m
5	0.220	0.600	0.200	CG_{SUP} =	0.629 m
6	0.600	0.600	0.250	W_{SUP} =	0.893 m^3
7				CG_{INF} =	1.371 m
8				W_{INF} =	0.410 m^3
				P 2 fase=	8.576 m
				P 1 fase=	5.726 m



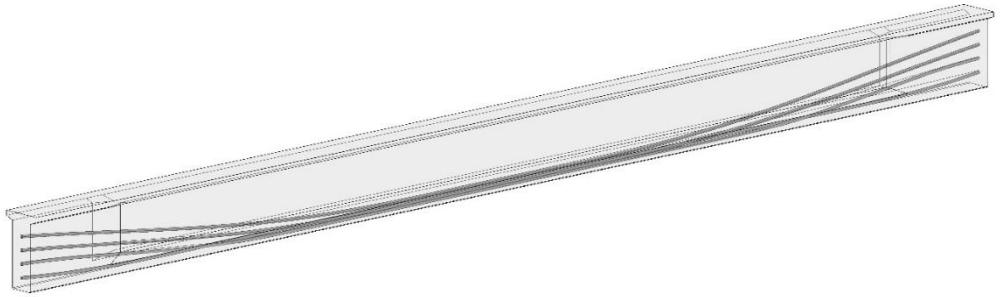
Fonte: O autor.

Neste exemplo, foi utilizada uma planilha específica para dimensionamento. No entanto, as funcionalidades desenvolvidas foram projetadas para serem flexíveis o suficiente para que qualquer planilha possa ser utilizada, oferecendo maior versatilidade ao usuário. A flexibilidade da rotina em aceitar diferentes layouts de planilhas proporciona uma vantagem significativa, pois os usuários podem adaptar a ferramenta às suas necessidades específicas sem comprometer a funcionalidade.

RESULTADO DA ROTINA DE MODELAGEM DOS CABOS

O resultado da rotina de modelagem dos cabos é apresentado na Figura 11. Essa representação mostra a configuração inicial dos cabos conforme as especificações inseridas anteriormente, permitindo que os engenheiros analisem a disposição e as características dos cabos na longarina. Essa modelagem é independente de a viga ser bi apoiada ou contínua, pois a rotina simplesmente insere os pontos na posição especificada na planilha.

Figura 11: Cabos modelados



Fonte: O autor.

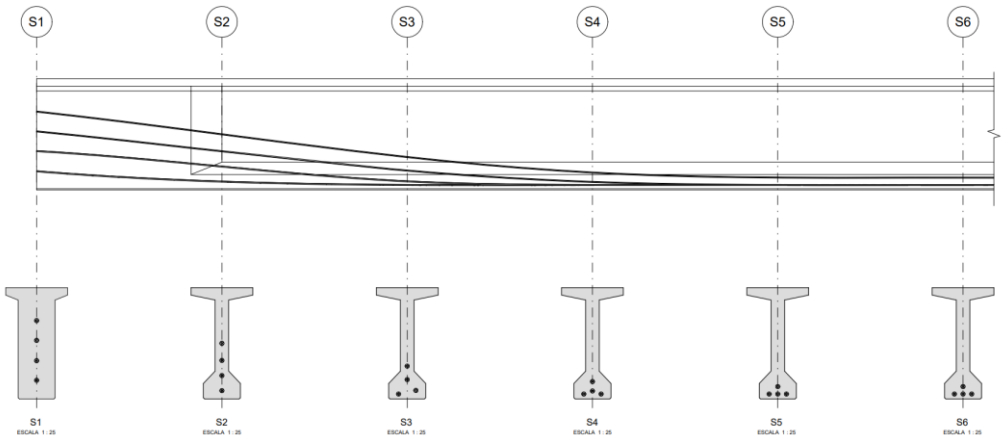
A modelagem dos cabos no Revit ofereceu uma visualização tridimensional das interações entre os cabos, a longarina e as armaduras passivas modeladas, permitindo ao engenheiro realizar verificações sobre os cobrimentos e espaçamentos necessários.

Os cabos foram inseridos no Revit como uma família adaptativa, que permite a definição de pontos de controle específicos. Essa abordagem oferece flexibilidade na modelagem, pois, uma vez que o cabo é modelado, o usuário pode facilmente realizar modificações através desses pontos de controle da família adaptativa. Após realizar as modificações desejadas na geometria do cabo, o usuário pode alternar a rotina para o modo de exportação. Essa funcionalidade permite que a nova geometria do cabo seja enviada de volta para a planilha de Excel, atualizando automaticamente os dados.

RESULTADO DA ROTINA DE DETALHAMENTO

A rotina de detalhamento foi responsável por inserir as vistas da longarina na prancha, de forma correta. O resultado pode ser visto na Figura 12, onde as vistas estão dispostas de forma a facilitar a compreensão dos detalhes da estrutura.

Figura 12: Resultado da rotina de geometria dos cabos



Fonte: o autor.

Com as vistas criadas e posicionadas, o engenheiro pode agora complementar o desenho, adicionando todas as anotações e cotas necessárias para a interpretação e execução do projeto. As anotações podem incluir informações sobre materiais, detalhes construtivos, e quaisquer observações relevantes que auxiliem na execução da obra.

INTERFACE DO PLUG-IN

As rotinas finalizadas foram compiladas e inseridas dentro do ambiente do Revit, conforme ilustrado na Figura 13, permitindo o usuário acessar as funcionalidades desenvolvidas.

Figura 13: Interface do Plug-in no Revit



Fonte: O autor.

CONCLUSÃO

As rotinas desenvolvidas e apresentadas neste trabalho automatizaram: a extração das informações geométricas a partir do modelo BIM para o Excel, a modelagem dos cabos na longarina conforme os dados extraídos e a geração de prancha e inserção das vistas nas posições especificadas. As rotinas desenvolvidas forneceram maior rapidez na geração e no ajuste da geometria dos cabos, integrando-os ao modelo BIM.

A automação no processo de modelagem e detalhamento das longarinas protendidas, utilizando Dynamo no Revit, trouxe contribuições significativas para a engenharia estrutural. As rotinas desenvolvidas possibilitaram uma geração e ajuste mais ágeis da geometria dos cabos, integrando-os eficientemente no modelo BIM. A modelagem dos cabos permite ao engenheiro posicionar a armadura passiva com maior exatidão, proporcionando uma visão clara da localização dos cabos. Essa abordagem reduz o tempo de trabalho e a probabilidade de erros manuais, além de aprimorar a precisão do detalhamento das longarinas. O impacto desse trabalho é evidente na eficiência e na qualidade do projeto, estabelecendo um modelo flexível que se adapta a diferentes estruturas e necessidades.

Além disso, o plug-in fornece a flexibilidade necessária para adaptar rotinas a diferentes tipos de projetos, possibilitando a personalização de ferramentas conforme as necessidades específicas de cada engenheiro e cada projeto. Com a automação das tarefas repetitivas, os profissionais podem dedicar mais tempo ao desenvolvimento e análise crítica dos projetos, aumentando a qualidade final do projeto.

O algoritmo desenvolvido pode, portanto, aumentar a eficiência e a qualidade do projeto estrutural, reduzindo a probabilidade de erros e permitindo uma adaptação mais rápida às mudanças do projeto. Além disso, o procedimento desenvolvido para este caso específico pode ser adaptado para diferentes estruturas e necessidades.

REFERÊNCIAS

[1] LACERDA, D. P. et al. *Design Science Research* : método de pesquisa para a engenharia de produção. Gestão & Produção, v. 20, p. 741–761, 2013.

[2] DNER, D. N. DE E. DE R. Manual de projeto de obras de arte especiais. Rio de Janeiro: DNER, 1996.

[3] EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. *BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. 2. ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2011.

[4] Leonhardt, F. (2005). *Prestressed Concrete: Principles and Applications*. Ernst & Sohn.

[5] ABECE; IBRACON. ABNT NBR 6118:2014: Comentários e Exemplos de aplicação. 2. ed. São Paulo: ABECE/IBRACON, 2020.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2023.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7187: Projeto de pontes, viadutos e passarelas. Rio de Janeiro, 2022.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Automação para projeto BIM de estruturas de armazenamento de rejeitos

Automation for BIM design of tailings storage structures

Matheus Lima de Barros | TPF Engenharia | matheus.barros@tpfe.com.br
Anna Júlia Gomes Ribeiro| TPF Engenharia | anna.ribeiro@tpfe.com.br
Guilherme Dias Santos Amaral Iff Jannuzzi | TPF Engenharia | guilherme.jannuzzi@tpfe.com.br
Igor de Moraes Ramos Silva| TPF Engenharia | igor.ramos@tpfe.com.br
João Lucas Vilar de Andrade | TPF Engenharia| joao.andrade@tpfe.com.br
Thiago Franklin Santos de Almeida | TPF Engenharia | thiago.almeida@tpfe.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14476830

Resumo

Automações podem trazer diversos benefícios na elaboração de projetos de arquitetura e engenharia. No contexto da Modelagem da Informação da Construção (BIM), as tarefas de criação de elementos tridimensionais com atribuição de propriedades podem ser otimizadas com rotinas de programação. Na indústria da mineração, estruturas de armazenamento de rejeitos são construídas para a correta disposição de materiais excedentes das atividades de beneficiamento de minérios. Diferentes cenários de projeto são avaliados para garantir a eficiência de segurança e de custos de operação das estruturas. O objetivo deste trabalho é apresentar uma abordagem automatizada para o projeto geométrico de estruturas de armazenamento de rejeitos, de modo a reduzir erros manuais e aumentar a precisão das modelagens. Para isso, as etapas metodológicas foram divididas em Entradas, Ferramentas/Técnicas e Saídas, onde foram adotadas boas práticas do PMBOK e metodologias ágeis. Como entradas, foram identificados requisitos de projetos de mineração a partir de diretrizes normativas, juntamente com o cronograma e o escopo do projeto. Para o desenvolvimento das automações, utilizou-se o Microsoft Visual Studio para programar em CSharp (C#), integrando-se à Interface de Programação de Aplicativos (API) do AutoCAD e Civil 3D para acessar os objetos típicos dos softwares. As atividades de projetos geométricos incluem a identificação de feições significativas do relevo pelo Modelo Digital de Terreno (MDT), a análise geotécnica do material a ser disposto, e a modelagem propriamente dita. Na ferramenta *Stock Pile* desenvolvida, a partir da seleção pelo usuário dos principais critérios geométricos, a rotina de automação retorna linhas de recurso, tridimensionais, que podem ser utilizadas na criação de superfícies. Outras automações denominadas *Ramp Tools* e *Break Feature Line* foram desenvolvidas para modelagem de acessos operacionais das estruturas, com base em critérios geométricos de rampa máxima e largura. Em um estudo de caso hipotético, a abordagem proposta trouxe uma redução de 50% na atividade de modelagem quando comparada a metodologias tradicionais, onde retrabalhos, esforços manuais repetitivos e desalinhamento de critérios de projeto são problemas comuns encontrados em verificações. Dentre as dificuldades observadas, pode-se citar a complexidade do MDT, onde a determinação da interseção entre a estrutura e o terreno tornou-se um desafio de processamento. A otimização de malhas triangulares do MDT contribui para mitigar esse problema. Para resolver isso, foi necessário desenvolver operações geométricas que não estavam nativamente disponíveis na API dos softwares. Um ponto limitante a ser destacado é o foco no Autodesk Civil 3D, o que, portanto, torna a solução dependente dos objetos nativos do software. Iniciativas como a do presente trabalho contribuem para

a disseminação do BIM na indústria da mineração, onde a complexidade dos projetos demanda soluções rápidas e eficazes. A implementação de rotinas customizadas de automação requer o trabalho colaborativo de uma equipe multidisciplinar, desde as linhas de programação à validação geotécnica da ferramenta criada. Em projetos de estruturas de armazenamento de rejeitos, destaca-se a eficiência ganha com as automações nos estudos de alternativas, onde de forma mais facilitada podem ser obtidas distintas geometrias para apoiar a tomada de decisão.

Palavras-chave: Automação. API. BIM. Mineração. Armazenamento de Rejeitos.

Abstract

Automation can bring benefits in architectural and engineering design. In the context of Building Information Modeling (BIM), the tasks of creating three-dimensional elements with property assignments can be optimized with programming routines. In the mining industry, tailings storage structures are built for the proper disposal of waste materials from mineral activities. Different design scenarios are evaluated to ensure the safety and operating costs of the structures. The objective of this paper is to present an automated approach to the geometric design of tailings storage structures to reduce manual errors and increase modeling accuracy. The methodological steps were divided into Inputs, Tools/Techniques and Outputs, where good practices from the PMBOK and agile methodologies were adopted. As inputs, mining project requirements were identified based on regulatory guidelines, along with the project schedule and scope. To develop the automations, Microsoft Visual Studio was used to program in CSharp (C#), integrating with the AutoCAD and Civil 3D Applications Programming Interface (API) to access the typical objects of the software. The geometric design activities include the identification of significant relief features from the Digital Terrain Model (DTM), the geotechnical analysis of the material to be disposed, and the modeling itself. In the Stock Pile tool developed, once the user has selected the main geometric criteria, the automation routine returns three-dimensional feature lines that can be used to create surfaces. Other automations called Ramp Tools and Break Feature Line were developed for modeling operational accesses to the structures, based on geometric criteria of maximum ramp and width. In a hypothetical case study, the proposed approach brought 50% reduction in modeling activity when compared to traditional methodologies, where rework, repetitive manual efforts and misalignment of design criteria are common problems encountered in verifications. Among the difficulties observed was the complexity of the DTM, where determining the intersection between the structure and the terrain became a processing challenge. The optimization of triangular meshes in the DTM contributes to mitigate this problem. To solve this, it was necessary to develop geometric operations that were not natively available in the software's API. A limiting point to highlight is the focus on Autodesk Civil 3D, which therefore makes the solution dependent on the software's native objects. Initiatives such as this one contribute to the dissemination of BIM in the mining industry, where the complexity of projects demands fast and effective solutions. The implementation of customized automation routines requires the collaborative work of a multidisciplinary team, from the programming lines to the geotechnical validation of the tool created. In tailings storage structure projects, the efficiency gained from automation in alternative studies stands out, where different geometries can be obtained more easily to support decision-making.

Keywords: Automation. API. BIM. Mining. Tailings Storage.

INTRODUÇÃO E CONTEXTO

Automações podem trazer diversos benefícios na elaboração de projetos de arquitetura e engenharia. Diante do crescente volume de dados gerados ao longo das do ciclo de vida de projetos, ferramentas automatizadas apresentam-se como uma solução para facilitar a gestão das informações. Seja para favorecer os trabalhos de modelagem ou manipular os modelos para atingir um determinado objetivo, como o controle físico-financeiro de obras [1] e a diminuição da pegada de carbono [2].

No contexto da Modelagem da Informação da Construção ou *Building Information Modeling* (BIM), a criação de elementos tridimensionais com a atribuição de propriedades é importante para o atendimento dos usos BIM especificados, seja em formato proprietário ou não-proprietário. Especialmente na etapa de modelagem nos usos BIM genéricos [3], regras paramétricas e rotinas de automação podem ser aplicadas para reduzir tarefas repetitivas e manuais.

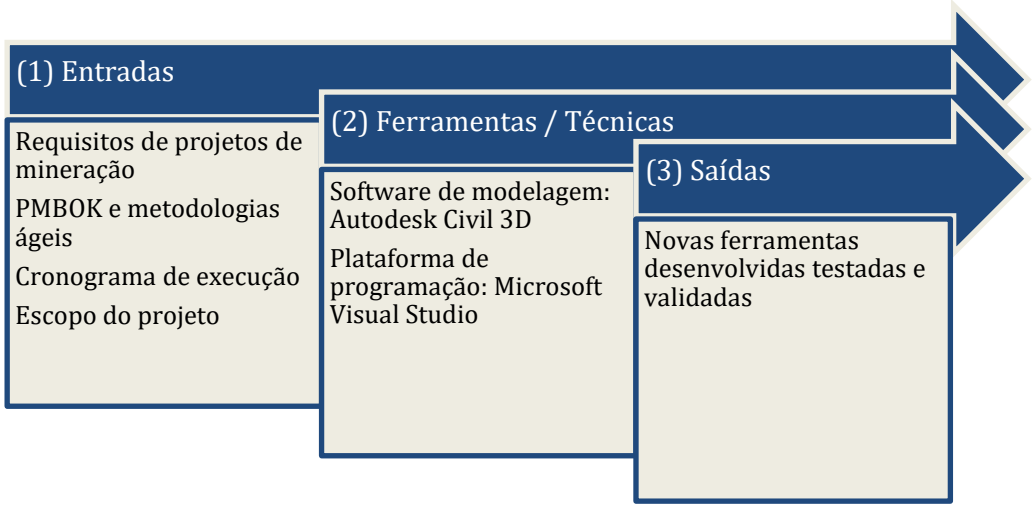
Na indústria da mineração, estruturas de armazenamento de rejeitos são construídas para a correta disposição de materiais excedentes das atividades de beneficiamento de minérios [4]. Para a tomada de decisão da alternativa de projeto a ser detalhada, diferentes cenários são avaliados a partir das condições topográficas, geológico-geotécnicas e hidrotécnicas da área de estudo, com o fim de atender requisitos de segurança e custos.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma abordagem automatizada para o projeto geométrico de estruturas de armazenamento de rejeitos, de modo a mitigar erros manuais e aumentar a precisão das modelagens. Por objetivos específicos busca-se destacar a importância das metodologias ágeis para avaliação gradativa do desenvolvimento e a aplicação das ferramentas em um estudo de caso hipotético.

ETAPAS METODOLÓGICAS

As etapas metodológicas que guiaram o desenvolvimento das ferramentas de automação foram estruturadas conforme as recomendações do *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) e metodologias ágeis [5]. Foi proposta uma abordagem em três etapas de (1) Entradas (*inputs*), (2) Ferramentas/Técnicas (*tools/techniques*) e (3) Saídas (*outputs*), também conhecidas como ITTOs (*inputs*, *tools/techniques and outputs*). Na Figura 1 apresentam-se as referidas etapas.

Figura 1 : ITTOs para o processo de desenvolvimento das automações.



Fonte: Autoria Própria.

ENTRADAS

Na primeira etapa foram identificados os principais requisitos de projetos geométricos de estruturas de armazenamento de rejeitos conforme diretrizes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) [6] e resoluções da ANM, como citado anteriormente.

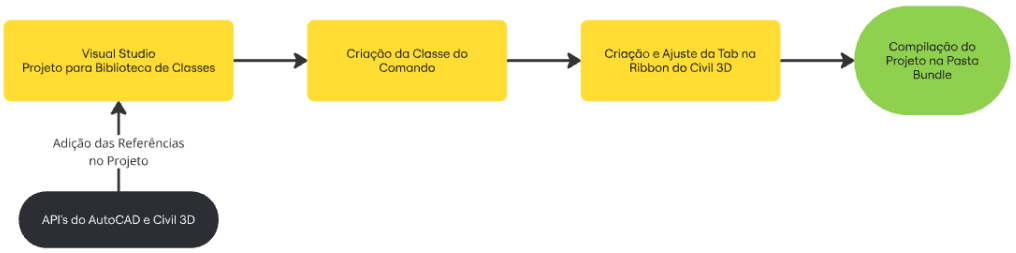
A leitura de boas práticas do PMBOK para adoção de metodologias ágeis foi uma etapa fundamental para guiar a criação de um escopo do projeto e um cronograma de execução, com reuniões semanais. Projetistas com experiência na área foram convidados para participar do processo e identificar os maiores gargalos de atividades de modelagem. A partir de uma seleção inicial, algumas atividades foram selecionadas, em especial as que envolviam esforços repetitivos com potencial para automação.

Para validação do que foi desenvolvido, optou-se pela estratégia de entregas parciais. A cada nova ferramenta, testes foram realizados por uma equipe multidisciplinar, para localizar pequenos erros e validar a conformidade com boas práticas de engenharia.

FERRAMENTAS / TÉCNICAS

A ferramenta de modelagem com foco das automações foi o Autodesk Civil 3D, capaz de criar elementos tridimensionais para os projetos de estruturas de armazenamento de rejeitos. Nesse sentido, como apresentado na Figura 2, utilizou-se o Microsoft Visual Studio para programação na linguagem CSharp (C#), onde torna-se possível a integração com a Interface de Programação da Aplicação ou *Application Programming Interface* (API) do Autodesk Civil 3D e AutoCAD, para acessar funções que manipulam os objetos típicos dos softwares.

Figura 2: Fluxo de desenvolvimento das automações.



Fonte: Autoria própria.

SAÍDAS

As novas ferramentas de automação testadas e validadas representam as principais saídas do processo, em que podem então ser incorporadas no dia a dia de modelagem dos projetos.

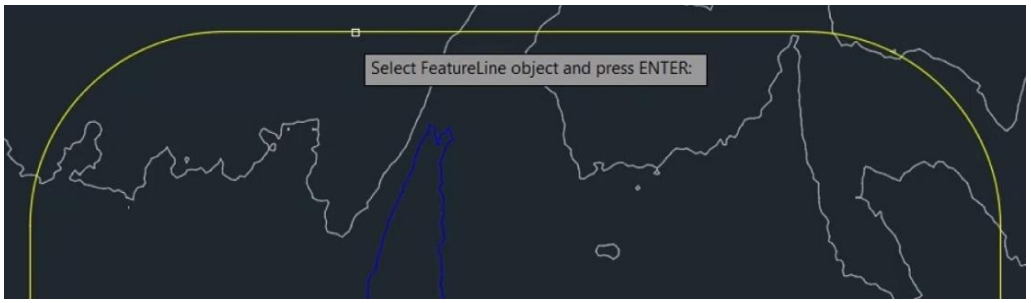
RESULTADOS

FERRAMENTAS DE AUTOMAÇÃO DESENVOLVIDAS

As atividades de projetos geométricos de estruturas de armazenamento de rejeitos incluem a identificação de feições significativas do relevo pelo Modelo Digital de Terreno (MDT), a análise geotécnica do material a ser disposto, e a modelagem propriamente dita. Na última, busca-se conformar a estrutura com o terreno para garantir o maior aproveitamento de armazenamento de volumes, a partir dos critérios geométricos do material. No quesito geometria foram identificados como principais parâmetros a altura máxima (*maximum height*), a inclinação (*berm inclination*) e a largura (*berm width*) de bermas, a altura de bancos (*max slope height*) e a inclinação dos taludes (*slope*).

Na ferramenta *Stock Pile*, desenvolvida para automatizar a criação do arranjo da estrutura, inicialmente o usuário deve selecionar uma linha de recurso (*feature line*) no Autodesk Civil 3D, conforme Figura 3.

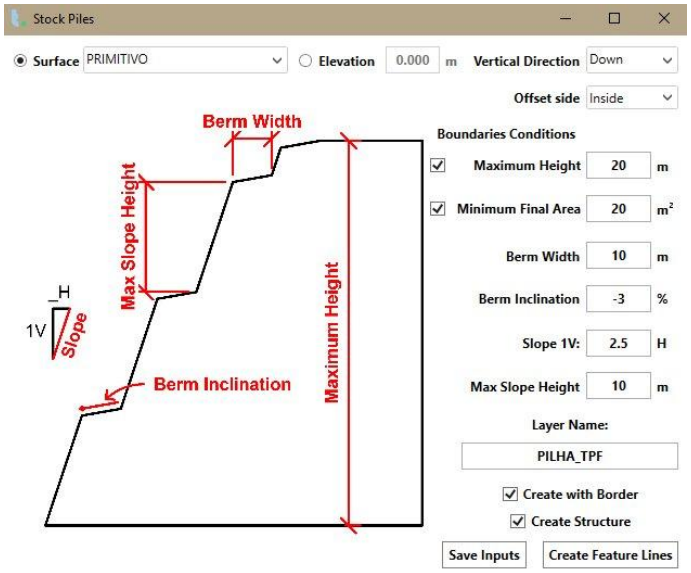
Figura 3 : Seleção da linha de recurso (*feature line*).



Fonte: Autoria Própria.

Com isso, o usuário determina os principais critérios geométricos na interface apresentada na Figura 4, onde foram incluídos como parâmetros de entrada além dos já mencionados, a superfície (*surface*) ou elevação (*elevation*) de referência, o sentido vertical (*vertical direction*) e o sentido horizontal (*offset side*) de criação do arranjo, a área mínima final (*minimum final área*), o nome da camada (*layer*) e a criação da linha de borda (*border*) de intersecção com o MDT.

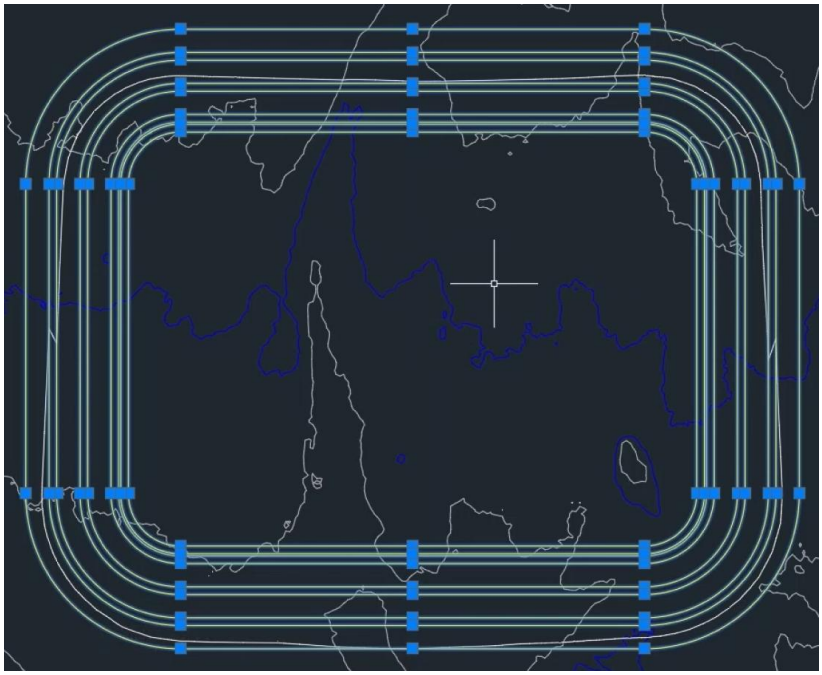
Figura 4 : Interface do usuário.



Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 5 apresenta-se o resultado das linhas de recurso (*feature lines*) criadas a partir da ferramenta, considerando os critérios de projeto listados. Destaca-se que como objetos tridimensionais, as linhas de recurso podem ser utilizadas como linhas de quebra (*breaklines*) na criação de superfícies.

Figura 5 : Linhas de recurso criadas pela ferramenta *Stock Piles*.

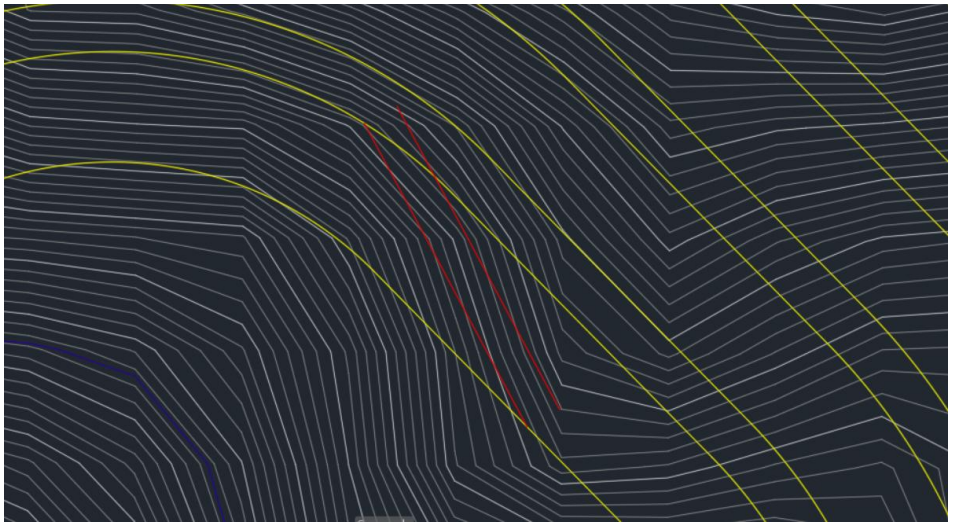


Fonte: Autoria Própria.

Outra ferramenta denominada *Ramp Tools* foi desenvolvida para modelagem automatizada de acessos operacionais das estruturas, com base em critérios geométricos de rampa máxima e largura, a depender do veículo de projeto.

Nesse caso, o usuário deve selecionar as linhas de recurso (*feature lines*) da base e da crista do talude, um ponto de origem para modelagem, a inclinação e direção desejada. A automação retorna uma polilinha (*polyline*) 3D, que permite ao usuário realizar um afastamento (*offset*) com a largura desejada, conforme a Figura 6.

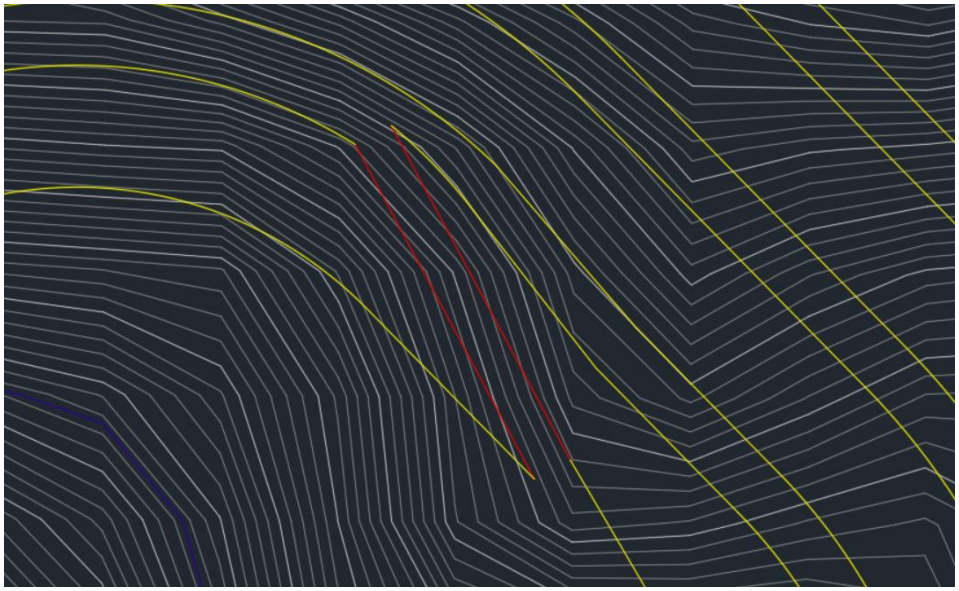
Figura 6: Modelagem dos acessos operacionais com o *Ramp Tools*.



Fonte: Autoria Própria.

Em seguida, a ferramenta *Break Feature Line*, desenvolvida para permitir o recorte das linhas de recurso (*feature line*), pode ser utilizada para ajustar o acesso operacional para os taludes já modelados na estrutura, conforme Figura 7.

Figura 7: Implantação da rampa do acesso operacional no talude.



Fonte: Autoria Própria.

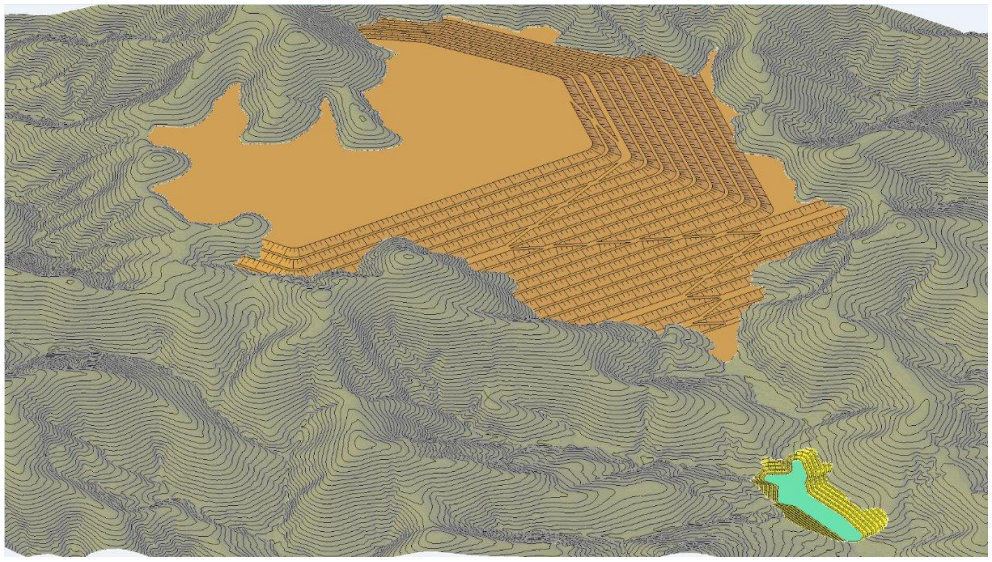
A partir das superfícies, a modelagem BIM possibilita a extração de seções, o que favorece as verificações de estabilidade em zonas críticas. Além disso, a comparação 3D da superfície de projeto com o terreno possibilita a obtenção de volumes, um dos aspectos chave para as estruturas de armazenamento.

Dentre as dificuldades observadas no desenvolvimento das rotinas, pode-se citar a complexidade do MDT, onde a determinação da interseção entre a estrutura e o terreno tornou-se um desafio de processamento. A otimização de malhas triangulares do MDT contribui para mitigar esse problema. Para resolver isso, além do refinamento de malha, foi necessário desenvolver operações geométricas que não estavam nativamente disponíveis na API do software. Um ponto limitante a ser destacado é o foco no Autodesk Civil 3D, o que, portanto, torna a solução dependente dos objetos nativos do software.

ESTUDO DE CASO

Como estudo de caso, uma pilha complexa, em laranja, incluindo os acessos operacionais e uma estrutura de contenção de sedimentos, em ciano, foram modelados conforme a Figura 8, onde o trabalho foi dividido em quatro atividades principais: a modelagem, o detalhamento, a verificação e a extração de quantitativos. Considerou-se um prazo hipotético de 5 dias com 8 horas-homem (HH) diárias de trabalho de um projetista para a etapa de modelagem.

Figura 8 : Estrutura de armazenamento de rejeitos de exemplo.



Fonte: Autoria Própria.

Na Tabela 1 apresenta-se um comparativo das formas de trabalho tradicional e com as automações, onde notam-se ganhos significativos na atividade de modelagem com a redução 50% do tempo dedicado quando comparada a formas tradicionais nativas do software, onde retrabalhos, esforços manuais repetitivos e desalinhamento de critérios de projeto são problemas comuns encontrados em verificações.

Tabela 1: Comparativo de elaboração tradicional e com automações.

Atividade	Tempo de Elaboração Tradicional (HH)	Tempo com Automação (HH)	Diferença (HH)
Modelagem	24	12	-12
Detalhamento	10	16	+6
Verificação	2	8	+6
Extração de Quantitativos	4	4	0
Total	40	40	-

Fonte: Autoria Própria.

Ainda na abordagem com as automações, destaca-se que, considerando o mesmo prazo, mais tempo pode ser dedicado nas atividades de detalhamento e verificação, o que traz ganhos de qualidade para o produto entregue.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Iniciativas como a deste trabalho contribuem para a disseminação do uso do BIM na indústria da mineração, onde a complexidade dos projetos demanda soluções rápidas e eficazes. A implementação de rotinas customizadas de automação requer o trabalho conjunto de uma equipe multidisciplinar, desde as linhas de programação à validação geotécnica da ferramenta criada. Destaca-se que as rotinas trazem ganhos significativos no tempo de elaboração de projetos, onde assim, mais esforço pode ser dedicado na tomada de decisão da melhor solução.

Em projetos de estruturas de armazenamento de rejeitos, destaca-se a eficiência ganha com a automação nos estudos de alternativas, onde de forma mais facilitada podem ser obtidas distintas geometrias para apoiar a tomada de decisão.

Em termos de perspectivas futuras, recomenda-se o aprofundamento na automação de outros projetos típicos de estruturas de armazenamento de rejeitos e estéreis, como a drenagem interna e superficial, terraplenagem e faseamento de construção. Além disso, sugere-se o aprofundamento na interoperabilidade de rotinas em software de outras fabricantes ou em formatos não-proprietários de forma a universalizar as automações propostas.

REFERÊNCIAS

[1] SCANONI, J.; IVAN, C.; MORAES, M.; BARROS, F.; RIBEIRO, A.; ALENCAR. Gerenciamento integrado em BIM: vinculando avanços físico-financeiros ao modelo 3D. Anais do 5° Congresso Português de *Building Information Modelling*. DOI: 10.21814/uminho.ed.142.46. 2024.

[2] GAN, V. J. L. BIM-Based Building Geometric Modeling and Automatic Generative Design for Sustainable Offsite Construction. In Journal of Construction Engineering and Management (Vol. 148, Issue 10). American Society of Civil Engineers (ASCE). DOI: https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002369. 2022.

[3] SUCCAR, B. Model Uses Table. BIMe Initiative. BIM Excellence. Disponível em: https://bimexcellence.org/files/211in-Model-Uses-Table.pdf. Acesso em: outubro de 2024.

[4] ANM. Agência Nacional de Mineração. Resolução ANM N° 85, de 2 de dezembro de 2021. Ministério de Minas Energia, Brasília, Brasil, 2021.

[5] PMI. Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK). 7 ed. Project Management Institute (PMI). Estados Unidos, 2021.

[6] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13029. Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha. Rio de Janeiro, Brasil, 2017.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Automatização do controle de qualidade em projetos BIM

Automation of quality control in BIM projects

Letícia Weijh | TPF Engenharia | leticia.weijh@tpfe.com.br

Juliana Scanoni Silva | TPF Engenharia | juliana.silva@tpfe.com.br

João Pedro | TPF Engenharia | joao.pedro@tpfe.com.br

Alana Stamford| TPF Engenharia | alana.stamford@tpfe.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14476969

Resumo

O objetivo do estudo foi desenvolver uma ferramenta de análise que otimiza o processo de verificação de qualidade em modelos BIM (*Building Information Modelling*) por meio de um painel dinâmico no Power BI. A ferramenta foi projetada dentro dos princípios do *openBIM*, utilizando o formato IFC para garantir interoperabilidade entre diferentes softwares e plataformas. Ela foi desenvolvida para otimizar e trazer mais eficiência nas etapas de análise e validação de informações nos projetos, proporcionando uma verificação abrangente. Isso possibilita a verificação rápida e dinâmica de todas as informações presentes nos modelos, garantindo assim um controle de qualidade mais preciso e eficaz do projeto.

A metodologia utilizada baseou-se na integração de dados paramétricos aos modelos 3D, criando um fluxo contínuo de informações entre as diversas disciplinas do projeto.

Inicialmente, foram definidos inputs essenciais, como os requisitos do cliente e a Estrutura Analítica do Projeto (EAP), servindo de base para o desenvolvimento do modelo. Em seguida, um modelo federado foi construído, o qual fornece informações de coordenação entre todas as disciplinas, como arquitetura, estruturas e instalações prediais. Esses modelos foram conectados ao Power BI, possibilitando a criação de um painel interativo que permitia a visualização e análise de parâmetros críticos em diversas métricas, como nomenclatura dos elementos, código de operação e manutenção, códigos orçamentários, mapeamento IFC, entre outras informações necessárias para desenvolvimento do projeto. O painel foi configurado com regras condicionais para identificação automática de inconsistências, como parâmetros sem informação ou incorretos, destacando as irregularidades de acordo com padrões de criticidade estabelecidos.

Os resultados da aplicação da ferramenta foram significativos, destacando-se o ganho em agilidade na etapa de verificação de dados. Em comparação com os métodos tradicionais, foi possível reduzir o tempo gasto em até 50%. A solução desenvolvida eliminou a necessidade de verificação por amostragem, garantindo uma cobertura completa dos elementos do modelo e oferecendo uma visão global e detalhada dos dados.

Foram aplicados estudos de casos, neste artigo serão apresentados dois estudos, o primeiro é um projeto de habitação, o painel foi utilizado para avaliar as conformidades nas disciplinas de arquitetura, paisagismo e instalações prediais. O processo envolveu a criação de templates padronizados com os parâmetros exigidos pelo cliente, a exportação dos modelos no formato IFC e a integração com o painel de controle, o que resultou na geração de relatórios que auxiliaram a equipe de projeto na correção e complementação dos modelos. O segundo estudo de caso refere-se a um projeto voltado para a operação remota de estação industrial de tratamento de fluidos específicos, essenciais ao funcionamento de subestações de alta tensão. Nesse caso, foram

analisados diversos parâmetros, incluindo um código de manutenção O&M e a classificação conforme a norma NBR 15.965.

Este estudo desenvolveu uma metodologia replicável e adaptável a diversos tipos de projetos de construção, proporcionando flexibilidade e escalabilidade à ferramenta criada. Seguindo os princípios do *openBIM*, a ferramenta utiliza o formato IFC para garantir interoperabilidade entre softwares, integrando modelos BIM com o Power BI para otimizar o controle de qualidade. Essa integração centraliza as informações necessárias para a verificação, facilitando a tomada de decisões e aumentando a produtividade e eficiência no controle de qualidade. A metodologia demonstrou potencial para ser amplamente adotada, trazendo confiabilidade aos dados e impactando positivamente a gestão e execução de projetos na construção civil.

Palavras-chave: BIM. Controle de Qualidade. Edificação. *openBIM*

Abstract

This study aimed to develop an analysis tool that optimizes the quality verification process in BIM (Building Information Modelling) models through a dynamic dashboard in Power BI. The tool was designed following the principles of openBIM, using the IFC format to ensure interoperability between different software and platforms. It was developed to optimize and bring more efficiency to the stages of information analysis and validation in projects, providing comprehensive verification. This enables a quick and dynamic review of all information contained in the models, thus ensuring more precise and effective project quality control.

The methodology used was based on the integration of parametric data into 3D models, creating a continuous flow of information between the various project disciplines. Initially, essential inputs were defined, such as client requirements and the Work Breakdown Structure (WBS), which served as the foundation for model development. Subsequently, a federated model was constructed, providing coordination information between all disciplines, such as architecture, structures, and building systems. These models were connected to Power BI, allowing the creation of an interactive dashboard that enabled the visualization and analysis of critical parameters across various metrics, such as element nomenclature, operation and maintenance codes, budget codes, IFC mapping, and other necessary information for project development. The dashboard was configured with conditional rules for the automatic identification of inconsistencies, such as missing or incorrect parameters, highlighting irregularities according to established criticality standards.

The results of applying the tool were significant, with a notable gain in speed during the data verification stage. Compared to traditional methods, it was possible to reduce time spent by up to 50%. The developed solution eliminated the need for sample-based verification, ensuring full coverage of all model elements and providing a global and detailed view of the data.

Case studies were applied, and two of them are presented in this article. The first one involves a housing project, where the dashboard was used to evaluate compliance in the architecture, landscaping, and building systems disciplines. The process involved creating standardized templates with client-required parameters, exporting models in IFC format, and integrating them with the control panel, resulting in the generation of reports that assisted the project team in correcting and completing the models. The second case study refers to a project focused on the remote operation of an industrial station for treating specific fluids essential to the operation of high-voltage substations. In this case, several parameters were analysed, including an O&M maintenance code and classification according to the NBR 15.965 standard.

This study developed a replicable and adaptable methodology for various types of construction projects, providing flexibility and scalability to the tool created. Following the principles of openBIM, the tool uses the IFC format to ensure interoperability between software, integrating BIM models with Power BI to optimize quality control. This integration centralizes the necessary information for verification, facilitating decision-making and increasing productivity and efficiency in quality control. The methodology has demonstrated potential for widespread adoption, bringing data reliability and positively impacting project management and execution in the construction industry.

Keywords: BIM. Quality Control. Construction. openBIM.

INTRODUÇÃO

De acordo com Eastman [1], os modelos BIM representam de maneira precisa virtualmente uma edificação, construídos digitalmente, incorporam a geometria exata, mas também informações

relevantes para sustentar a construção, e assim, é possível obter os insumos e gestão ao longo do ciclo de vida da edificação. Dessa forma, os modelos BIM vão além de uma simples representação 3D, incorporando dados essenciais para criar, modificar, compartilhar e coordenar no processo de projeto, desde a fase de concepção até a gestão e operação do edifício.

A coordenação de projetos, conforme Manzione [2], envolve uma série de ações voltadas para garantir a qualidade do projeto e de seus produtos e requer uma definição precisa, planejamento minucioso, e uma execução controlada e organizada orientadas para instrumentos de controle específicos. A visão de Nóbrega Júnior [3] reforça a importância de uma gestão eficiente do processo de projeto e de uma coordenação técnica eficaz, com atividades como reuniões e análises críticas. Melhado [4] complementa, destacando a coordenação de projetos como suporte ao desenvolvimento, integrando requisitos e decisões de projeto.

Diante destas reflexões, a adoção do BIM na gestão de projetos, embora traga inúmeras vantagens, também aumenta significativamente a complexidade do processo. A integração de diversos dados e disciplinas em um único modelo digital exige um controle rigoroso e uma validação eficiente das informações. Essa complexidade torna a gestão de projetos mais desafiadora, pois é necessário garantir a precisão e a consistência dos dados ao longo de todo o ciclo de vida do projeto. Em resposta a esse desafio, a solução desenvolvida foi a utilização de um painel dinâmico no Power BI, que integra os dados paramétricos aos modelos 3D. Essa ferramenta não só otimiza o processo de verificação de qualidade, oferecendo uma análise mais abrangente e precisa, como também facilita a tomada de decisões ao proporcionar uma visão global e interativa do projeto, superando as limitações das abordagens tradicionais de verificação de projetos.

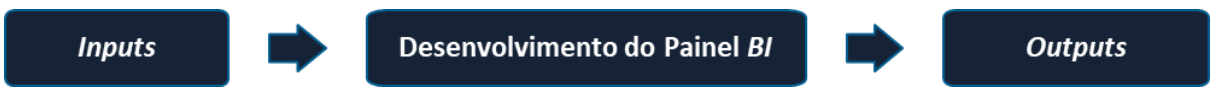
OBJETIVO

O objetivo é desenvolver uma ferramenta de análise utilizando um painel dinâmico no Power BI, integrando dados paramétricos ao modelo 3D para otimizar a verificação e garantir a qualidade das informações em projetos de construção. Especificamente, busca-se acelerar o processo de análise, ampliar a cobertura dos elementos analisados no modelo, proporcionar maior controle e interatividade para apoiar a tomada de decisões, aprimorar a validação dos processos BIM, assegurando a conformidade de informações críticas, além de criar uma metodologia replicável e adaptável a diferentes tipos de projetos.

MÉTODO

Nesta seção será apresentada a metodologia utilizada para estruturar o fluxo de desenvolvimento do painel dinâmico no Power BI. O processo inclui a coleta de dados (inputs), o desenvolvimento do painel no BI e, por fim, são gerados os resultados (outputs) na análise dos projetos.

Figura 1: Fluxo de elaboração do painel dinâmico de Power BI.



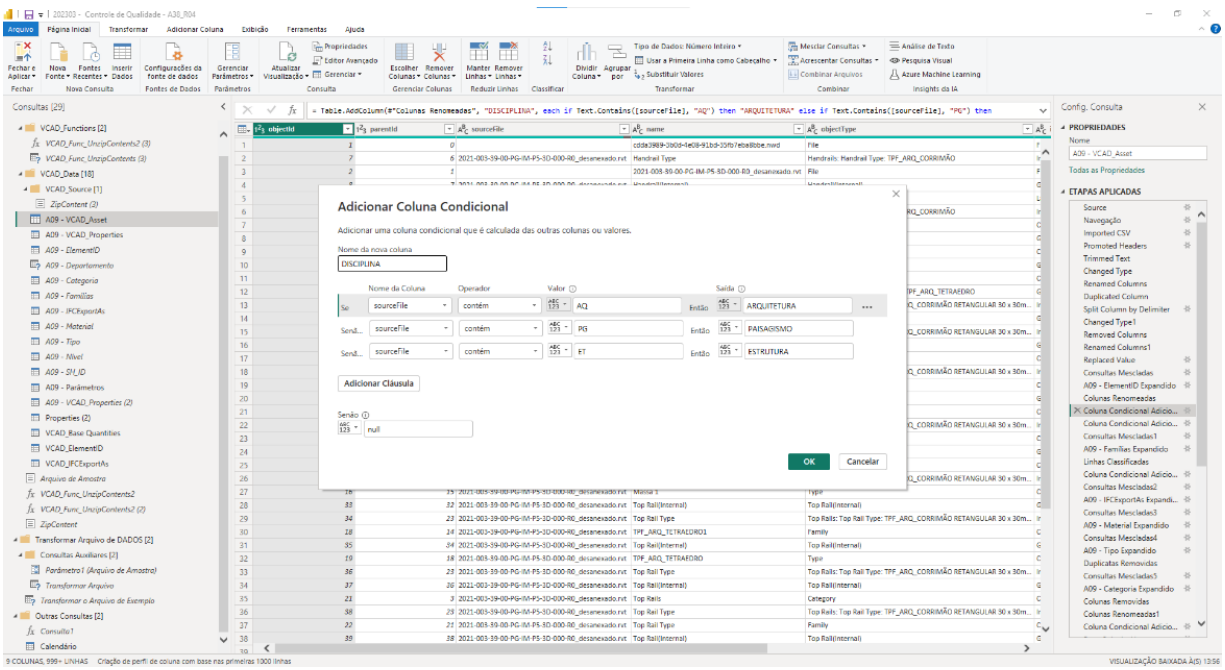
Fonte autor.

1. Os Inputs compreendem as informações que serão necessárias a elaboração do Painel de BI, incluindo:
    a. Requisitos do cliente: Informações ou expectativas do cliente em relação ao projeto;
    b. Estrutura Analítica do Projeto (EAP): Representação hierárquica das entregas e atividades do projeto, auxiliando na organização dos elementos a serem controlados.
    c. Usos do BIM: Propósitos específicos da metodologia BIM no projeto, orientando o desenvolvimento dos modelos e o processo desde a fase de concepção até a finalização do projeto. Guias como o da Pennsylvania State University [5] fornecem diretrizes para sua implementação.
    d. Modelo Federado: Conjunto de modelos BIM de diferentes disciplinas, nos quais os dados do projeto são armazenados, agrupados e integrados em um formato de banco de dados. A federação foi realizada no Navisworks, com arquivo .nwd, permitindo visualização leve e conexão ao Painel BI.

A identificação dos dados é uma etapa fundamental para o controle de qualidade do projeto. Esse processo envolve a seleção de parâmetros que demandam monitoramento, como nomenclatura dos elementos, descrição, códigos de orçamento, dados de gerenciamento de ativos, classificação de elementos conforme normativas, mapeamento IFC, entre outros.

Após essa fase, é crucial definir o nível de compreensão visual do painel de BI, implementando regras condicionais para identificar parâmetros que estejam em branco ou preenchidos conforme os documentos do projeto, como o plano de execução BIM, checklist de projeto, critérios de orçamento, entre outros documentos utilizados para detectar inconsistências ou validar o modelo.

Figura 2: Interface do Power BI com aplicação de regras.



Fonte autor.

1. Modelo Federado: O modelo tridimensional integrado ao Microsoft Power BI é derivado de um modelo federado, que proporciona uma visão abrangente e coordenada entre diversas disciplinas, sendo construído no Navisworks. Embora o modelo possa aceitar vários formatos de arquivo, para ilustrar o processo, serão considerados dois formatos principais: .rvt (Autodesk Revit) e .ifc (Industry Foundation Classes). A associação do formato .ifc ao modelo federado é essencial, pois, como padrão aberto, garante a interoperabilidade entre diferentes softwares BIM, tornando a metodologia replicável em diversos projetos, independentemente da ferramenta de modelagem utilizada.

Figura 3: Fluxo de elaboração de um modelo federado no Autodesk Navisworks.

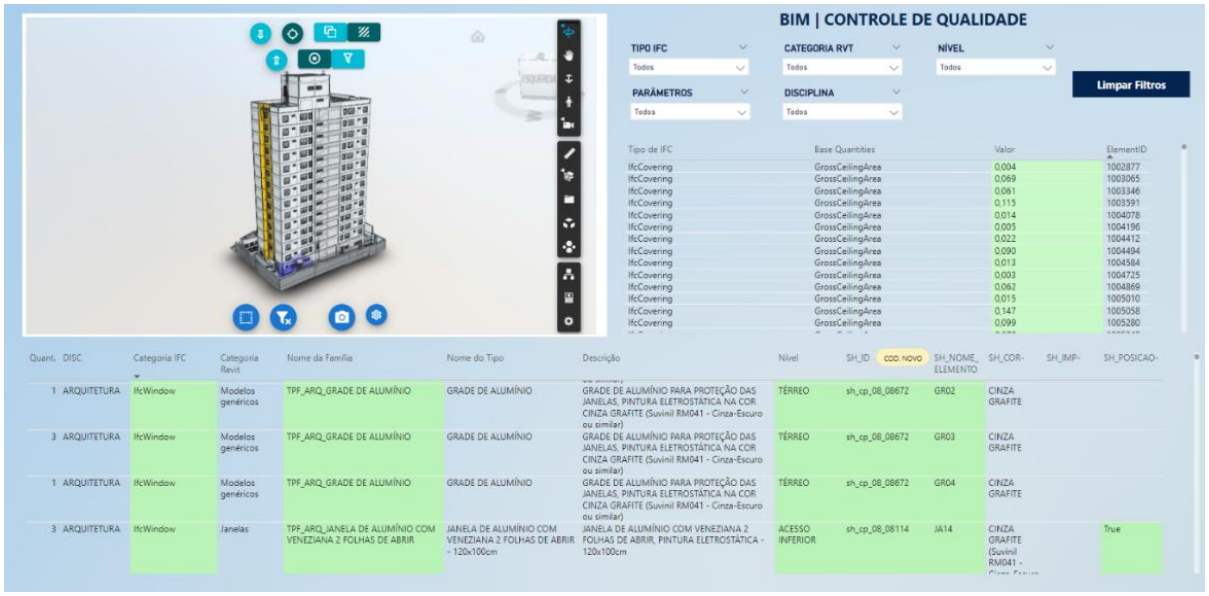


Fonte autor.

2. Desenvolvimento do Painel BI: O Painel BI com integração do visual VCad permite a visualização e análise dos dados do projeto, fornecendo informações essenciais para a tomada de decisões. Seu desenvolvimento envolve o processamento dos dados do modelo, a seleção de parâmetros relevantes e a criação de regras condicionais para identificar inconsistências. O VCad é um visual do PowerBI que utiliza a integração com visualizadores 3D da Autodesk Platform Services e pode adquirido a parte. A integração entre o modelo BIM e o Power BI possibilita a visualização dos modelos nos painéis, através da visualização do VCad, a extração de informações em diversos formatos (.ifc, .rvt, .nwd) e a criação de painéis interativos que suportam análises detalhadas e informadas. Essa integração aprimorada permite a personalização dos painéis, oferecendo insights importantes para uma análise completa e verificações mais abrangentes, tanto por disciplina quanto de forma global.
3. Outputs: O resultado do processo de controle de qualidade é a finalização do painel de BI, que oferece informações claras e acessíveis sobre a qualidade do projeto. Esse painel pode incluir gráficos, tabelas e outros elementos visuais, facilitando a interpretação dos dados. Com essa ferramenta, o coordenador BIM consegue centralizar as informações relevantes, proporcionando uma visão abrangente da estrutura de dados. Além disso, o painel auxilia o projetista na identificação de pontos críticos, bem como na correção ou complementação necessária para o término do modelo.

A aplicação dessa metodologia frequentemente exige múltiplas atualizações no modelo federado, gerando novos modelos à medida que o projeto avança. O processo envolve a federação no Navisworks e a vinculação ao painel BI, que já possui regras pré-definidas. As revisões visam verificar novos elementos, ajustar informações e garantir uma validação contínua do projeto. Adicionalmente, novos botões ou filtros podem ser adicionados ao painel para atender a necessidades específicas.

Figura 4: Painel desenvolvido para validação de projeto de Habitação de Interesse Social para SEHAB.



Fonte autor.

ESTUDOS DE CASO

ESTUDO DE CASO 1 - SEHAB: HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

O escopo deste projeto abrangeu o desenvolvimento de quatro edifícios de Habitação de Interesse Social para a Secretaria de Habitação de São Paulo (SEHAB), com uma área total de aproximadamente 28.000 m², abrangendo cerca de 320 unidades. As disciplinas analisadas incluíram arquitetura, paisagismo, comunicação visual, terraplanagem, estrutura, hidrossanitário e elétrica, utilizando o BIM para coordenação 3D, compatibilização, quantificação e orçamentação.

O fluxo de trabalho começou com o planejamento e elaboração do plano de execução BIM, onde foram especificados os requisitos do cliente, os requisitos de exportação IFC, de orçamento, além das estratégias de modelagem. Em seguida, foram criados templates das disciplinas com parâmetros nativos e não-nativos. Após o preenchimento das informações, os modelos foram exportados em formato IFC para a criação do modelo federado. Por fim, implementou-se o painel de controle de qualidade no Power BI, que gerou relatórios para a equipe de projetos, auxiliando na complementação e correção dos modelos.

Tabela 1: Requisitos de informações dos modelos

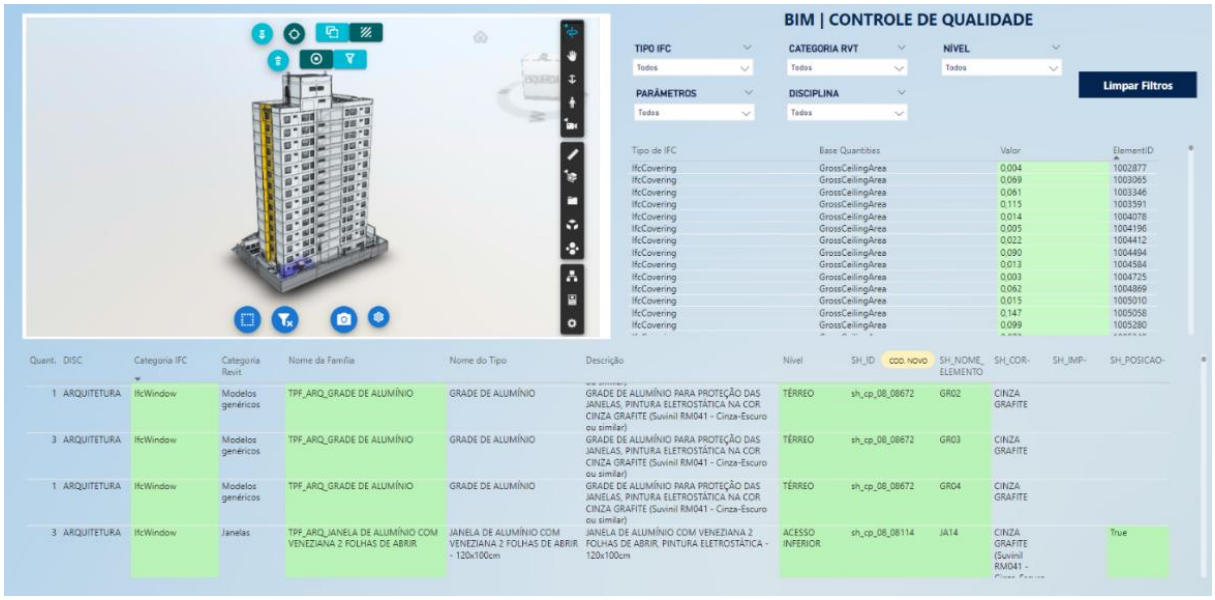
Requisitos de padronização do Template e modelagem	**Requisitos de informação para orçamento**
Nome da família	SH_ID
Nome do Tipo	SH_NOME ELEMENTO
Descrição	SH_IMP
Nível	SH_COR
Categoria Revit	SH_POSIÇÃO
Disciplina	CATEGORIA IFC

Fonte autor.

As informações do modelo foram organizadas em duas partes principais. A primeira parte abrange os requisitos de padronização do template e da modelagem, incluindo: nome da família, nome do tipo, descrição (detalhada para fins de orçamento e execução da obra), nível, categoria Revit e disciplina.

A segunda parte trata dos requisitos de informação para orçamento, que envolvem os parâmetros. O SH_ID é um número derivado da Estrutura Analítica do Projeto (EAP) do cliente, e refere-se a uma codificação específica para orçamento, na qual um código é atribuído ao elemento com base em Sistema Nacional de Referência de Custos, como o SINAPI. Caso não exista uma tabela de referência disponível, é criada uma composição para o item. O SH_NOME_ELEMENTO identifica o tipo de elemento dentro de uma categoria, como, por exemplo, tipos de portas, paredes ou janelas. O SH_IMP define o tipo de impermeabilização aplicada ao elemento, enquanto o SH_POSIÇÃO especifica se o elemento tem uma função externa ou interna no projeto. Por fim, a CATEGORIA IFC define o tipo de IFC de cada elemento.

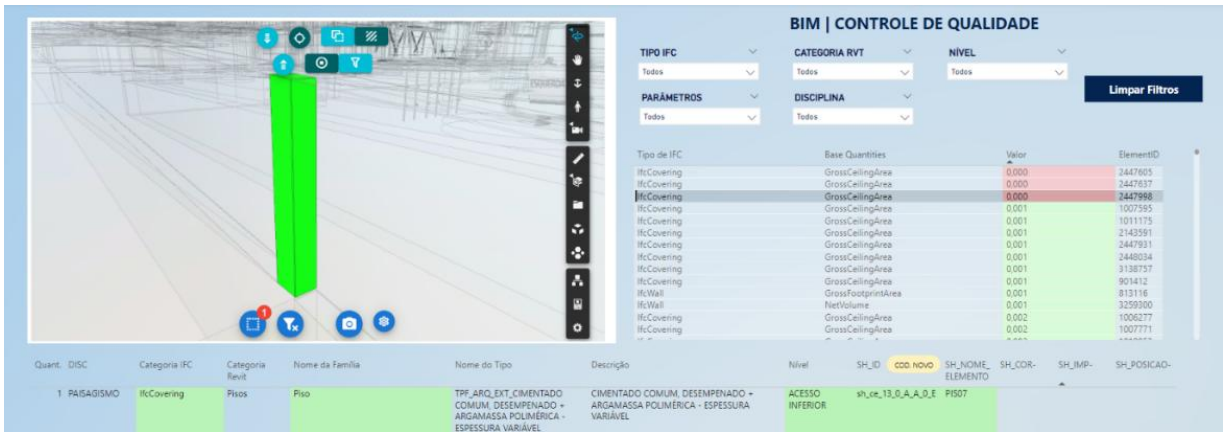
Figura 5: Painel desenvolvido para validação de Habitação de Interesse Social para SEHAB.



Fonte autor.

No topo da figura 5, encontram-se filtros aplicáveis, como categorias IFC, Revit, nível do elemento, parâmetros do modelo e disciplina, permitindo isolar partes específicas durante a análise. Abaixo, são exibidos os parâmetros de quantidades extraídos dos IFC e o Element ID, um identificador único gerado automaticamente pelos softwares de modelagem. Os parâmetros de informação verificados, descritos na Tabela 1, possuem regras associadas que destacam em vermelho as não conformidades, como falhas de preenchimento. Para corrigir, o modelador deve inserir as informações faltantes, exportar o modelo para IFC e reiniciar o ciclo de verificação.

Figura 6: Painel de Controle de Qualidade, com não conformidade na base quantities de IfcCovering em vermelho.



Fonte autor.

Na figura 6, é destacada em vermelho a verificação da base quantities das paredes de revestimento. A célula é marcada em vermelho quando a quantidade é detectada como zero, sinalizando a necessidade de correção na modelagem por parte do projetista. Embora a geometria esteja corretamente representada no modelo, as quantidades associadas não foram exportadas corretamente no IFC. Essas

quantidades são essenciais para o processo de orçamentação (5D), que será realizado com base nos IFCs verificados.

Segundo a *buildingSMART* [6], a base quantities definem valores brutos e líquidos de objetos, como comprimento, altura, área e volume, independentemente do método de medição, sendo essenciais para a medição precisa da geometria dos elementos. Além disso, os elementos são classificados em subtipos conforme o *IfcElement*, como *IfcWall* para paredes.

ESTUDO DE CASO 2 - ESTAÇÃO INDUSTRIAL DE TRATAMENTO DE FLUIDOS

O Estudo de Caso 2 envolve um projeto focado na operação remota de uma estação industrial de tratamento de fluidos específicos, essenciais para o funcionamento de subestações de alta tensão. As disciplinas analisadas incluíram arquitetura, paisagismo, terraplanagem, estrutura, hidrossanitário, tubulação industrial, climatização, mecânica industrial, sistemas de incêndio, elétrica, entre outras. Os usos BIM destes modelos foram coordenação 3D, compatibilização, quantificação, orçamentação, além do planejamento e gestão de ativos.

O fluxo de trabalho começou com o planejamento do PEB contendo os requisitos de informação de projeto, a criação de templates para cada disciplina com parâmetros nativos e não-nativos, seguido pelo preenchimento das informações e a exportação dos modelos em formato IFC para gerar o modelo federado. O painel de controle de qualidade no Power BI foi implementado, desempenhando um papel essencial no controle de qualidade, especialmente pela participação de vários projetistas. O uso do dashboard permitiu uma coordenação eficaz entre todos os envolvidos, facilitando a condução das reuniões de design review.

Tabela 2: Requisitos de informações dos modelos

Requisitos de padronização do Template e modelagem	**Requisitos de informação para Operação e Manutenção O&M**
Descrição	Disciplina (1)
Tag	Local de Instalação (2)
Descrição	Grupos de Elementos (3)
Nota-chave	Subgrupos de Elementos (4)
Linha de tubulação	Número sequencial (5)

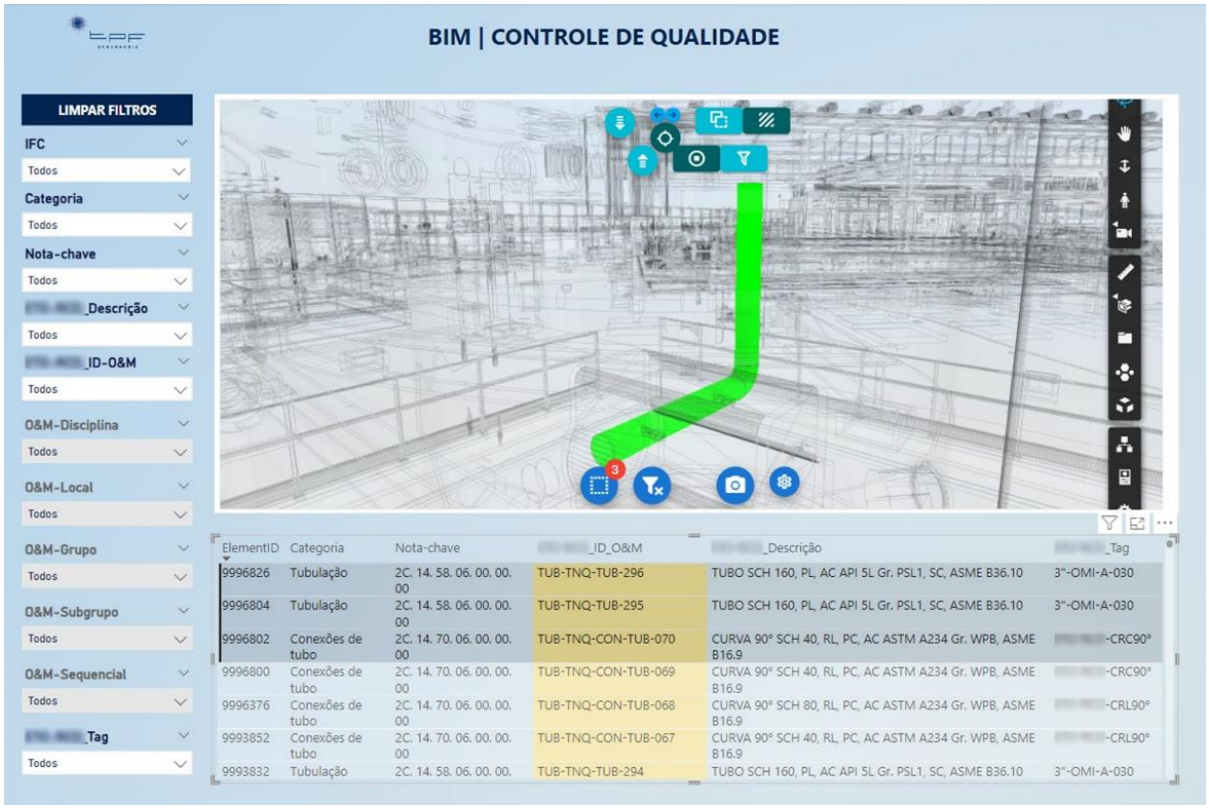
Fonte autor.

Os requisitos de padronização do template e modelagem referem-se à **descrição** do elemento, contendo as informações mínimas para orçamento e execução. A **Tag** corresponde ao identificador dos elementos, em consonância com a documentação do projeto. A **Nota-chave** refere-se à classificação dos elementos, em conformidade com a ABNT NBR 15.965. A **Linha de tubulação** refere-se ao identificador de todos os elementos conectados às tubulações, orientando a identificação desses elementos no modelo, de acordo com a documentação.

O código de informação para Operação e Manutenção O&M (1) – (2) – (3) – (4) – (5) foi dividido em cinco partes para facilitar a identificação e organização dos elementos de Operação e Manutenção no projeto. A primeira parte é a **Disciplina (1)**, que abrange os elementos relevantes para O&M. A segunda parte refere-se ao **Local de Instalação (2)**, definido de acordo com a designação de ambientes e zonas feitas pelas disciplinas de Arquitetura e Urbanização. A terceira parte é o **Grupo de Elementos (3)**, estabelecidos com base em critérios definidos durante o desenvolvimento dos projetos para cada disciplina. A quarta parte é o **Subgrupo de Elementos (4)**, definidos com base nos Grupos, também

conforme critérios estabelecidos durante o desenvolvimento dos projetos em cada disciplina. Por fim, a quinta parte é o **Número Sequencial (5)**, composto por três dígitos (001 a 999).

Figura 7: Painel desenvolvido para validação de informações de projeto de estação industrial.



Fonte autor.

Na figura 7, a coluna à esquerda apresenta filtros para a seleção do modelo IFC de cada disciplina, além de informações como descrição e categoria. No item Nota-chave, é filtrada a classificação de cada objeto de acordo com a norma NBR 15.965. O código de manutenção e operação O&M também é exibido, dividido em cinco partes de três caracteres cada, permitindo a filtragem individual de cada segmento, conforme necessário. Na aba inferior, encontra-se o ID, um identificador único gerado automaticamente para cada elemento do modelo, facilitando a rastreabilidade e correção de itens não conformes. O preenchimento dos itens é visualizado no painel abaixo; neste caso, foram selecionadas tubulações. Códigos que não estão em conformidade são destacados em vermelho por meio de regras condicionais, indicando a necessidade de revisão.

CONCLUSÃO

A implementação da ferramenta de análise no painel dinâmico do Power BI atingiu com sucesso os objetivos, otimizando a verificação e qualidade das informações nos projetos, acelerando o processo de análise e ampliando a cobertura dos elementos. A ferramenta apoiou a tomada de decisões de coordenação e nas reuniões de projeto, além de garantir a conformidade dos processos BIM. A metodologia replicável e adaptável reduziu o tempo em 50% nos dois estudos de caso apresentados, demonstrando ganhos significativos em produtividade. O sucesso da implementação permitiu a replicação do processo em outros projetos, com documentação em formato de manual e vídeos para ampla disseminação.

REFERÊNCIAS

[1] EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. 2. ed. Hoboken, N.J.: Wiley, 2014.

[2] MANZIONE, L.; MELHADO, S.; NÓBREGA, C.L. BIM e Inovação em Gestão de Projetos. 1ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

[3] NÓBREGA, C.L. Coordenador de projetos de edificações: estudo e proposta para perfil, atividades e autonomia. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

[4] MELHADO, S., B., *et al.* Coordenação de projetos de edificações. 1. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005.

[5] [5] MESSNER, J.; ANUMBA, C.; DUBLER, C.; GOODMAN, S.; KASPRZAK, C.; KREIDER, R.; LEICHT, R.; SALUJA, C.; ZIKIC, N. BIM Project Execution Planning Guide - Version 2.2. Pensilvânia, Estados Unidos, 2019.

[6] buildingSMART. IfcElementQuantity. Standards buildingSMART. 2024. Disponível em: https://standards.buildingSMART.org/IFC/DEV/IFC4_2/FINAL/HTML/schema/ifcproductextension/lexical/IfcElementquantity.htm. Acesso em: 20 out. 2024.

[7] WEIJH, L.; STAMFORD, A.; SCANONI, J.; CARVALHO, J. Análise de qualidade em modelos BIM: Aprimorando a eficiência. In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING, 5., 2024, Braga. Braga: UMinho Editora, 2024. p. 39-49. DOI: https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Avaliação da Interoperabilidade de softwares para projetos de pontes

Assessment of interoperability in bridge design software

Letícia Negris Gardioli | Universidade Federal de Viçosa | leticia.gardioli@ufv.br | 0009-0004-7784-6087
Diôgo Silva de Oliveira| Universidade Federal de Viçosa | diogooliveira@ufv.br| 0000-0002-4771-8971
Guilherme Palla Teixeira| Universidade Federal de Viçosa | guilherme.palla@ufv.br | 0000-0002-7704-906
Kleos Magalhães Lenz Cesar Júnior | Universidade Federal de Viçosa | kleos@ufv.br | 0000-0003-4779-4226

DOI: 10.5281/zenodo.14477031

Resumo

O BIM possibilita uma nova forma de trabalho colaborativo, desempenhando um papel fundamental na organização e partilha de informações entre distintas áreas de projeto. Todos os elementos que compõem um modelo BIM guardam um conjunto de propriedades e características que os definem. Porém, para que estas informações sejam de fato aproveitadas de um modelo para outro, é igualmente importante que o software de modelagem seja capaz tanto de produzir um modelo paramétrico consistente, rico em informações, quanto de estabelecer uma comunicação eficaz com o software de análise estrutural em uso. Quando se exporta um arquivo IFC de um software de modelagem para um software de análise, com a premissa de que o IFC tenha sido salvo de forma adequada, as informações necessárias para a análise estrutural devem ser lidas e interpretadas adequadamente pelo software receptor. Caso contrário, haverá necessidade de inserção manual posterior, resultando em retrabalho. Em projetos de pontes, essa problemática se intensifica, tendo em vista o déficit de classes IFC que contemplem todos os elementos específicos de pontes. Nesse sentido, o presente trabalho busca avaliar o atual nível de interoperabilidade e colaboração entre softwares de modelagem BIM e de análise e dimensionamento de pontes, discutindo os avanços percebidos até então e as lacunas que ainda existem para que haja um fluxo *OpenBIM* neste tipo de projeto. Para isso, foram definidos como objeto de estudo quatro softwares de análise e dimensionamento, dentre eles, dois específicos de pontes, onde, através de um projeto-base produzido no Revit, software de modelagem BIM da Autodesk, avaliou-se a leitura e interpretação das classes IFC definidas de acordo com a biblioteca de classes da *buildingSMART* [7] para cada elemento que compõe a OAE, observando a quantidade de informações lidas e interpretadas e se, através disso, o software é capaz de produzir um modelo de análise preciso, sem que haja retrabalho. Resultados preliminares do estudo destacam que, em média, 50% dos parâmetros avaliados foram lidos e interpretados, mostrando que ainda há um longo caminho até que se haja um fluxo *OpenBIM* neste tipo de projeto. Observou-se também que não necessariamente o software que leu uma maior quantidade de parâmetros terá uma importação mais eficiente, pois é necessário avaliar o grau de relevância do parâmetro lido para a produção do modelo analítico e para a obtenção dos esforços na estrutura. Até o momento, nenhum software avaliado conseguiu produzir o modelo analítico a partir de um arquivo não proprietário do modelo BIM. Apesar dos constantes avanços no desenvolvimento do IFC, percebe-se um descompasso entre seu desenvolvimento e sua implementação nos softwares de engenharia, que não conseguem acompanhar esse progresso. A partir dos resultados obtidos, destaca-se a importância da fluidez entre pesquisa e aplicação prática do BIM. Para que haja um pleno emprego desta tecnologia, os detentores das ferramentas computacionais devem buscar adequá-las, sendo efetivamente

capazes de interoperar, colaborar e compatibilizar seus modelos com os demais softwares disponíveis no mercado.

Palavras-chave: BIM. Interoperabilidade. Colaboração. Pontes. Modelo BIM.

Abstract

BIM enables a new form of collaborative work, playing a fundamental role in organizing and sharing information between different project areas. All elements that make up a BIM model have a set of properties and characteristics that define them. However, for this information to be effectively used from one model to another, it is equally important that the modeling software be capable of both producing a consistent, information-rich parametric model and establishing effective communication with the structural analysis software in use. When exporting an IFC file from a modeling software to an analysis software, assuming that the IFC has been saved properly, the information required for the structural analysis must be read and interpreted properly by the receiving software. Otherwise, manual insertion will be necessary later, resulting in rework. In bridge projects, this problem is intensified, given the lack of IFC classes that cover all the specific elements of bridges. In this sense, this study aims to evaluate the current level of interoperability and collaboration between BIM modeling and bridge analysis and design software, discussing the advances observed so far and the gaps that still exist for an OpenBIM flow in this type of project. For this purpose, four analysis and design software were defined as the object of study, two of which were specific to bridges. Through a base project produced in Revit, Autodesk's BIM modeling software, the reading and interpretation of the IFC classes defined according to buildingSMART [7] class library for each element that makes up the OAE were evaluated, observing the amount of information read and interpreted and whether, through this, the software can produce an accurate analysis model, without rework. Preliminary results of the study highlight that, on average, 50% of the parameters evaluated were read and interpreted, showing that there is still a long way to go until there is an OpenBIM flow in this type of project. It was also observed that the software that read a greater number of parameters will not necessarily have a more efficient import, since it is necessary to evaluate the degree of relevance of the parameter read to produce the analytical model and for obtaining the forces in the structure. To date, no software evaluated has been able to produce the analytical model from a non-proprietary BIM model file. Despite the constant advances in the development of the IFC, there is a gap between its development and its implementation of engineering software, which cannot keep up with this progress. Based on the results obtained, the importance of fluidity between research and practical application of BIM is highlighted. To fully utilize this technology, the holders of the computational tools must seek to adapt them, being effectively capable of interoperating, collaborating and making their models compatible with other software available on the market.

Keywords: BIM. Interoperability. Collaboration. Bridges. BIM model.

INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil caminha lentamente no desenvolvimento tecnológico quando comparada a outros setores que trabalham com modelos digitais tridimensionais ricos em informação. Na busca por diminuir este déficit, o BIM (*Building Information Modeling*), junto a tudo o que nele se pauta, surge como impulsionador da mudança na rotina de projetos.

Porém, tendo em mente que o BIM não se trata apenas da representação tridimensional, nem de um software, empresa ou organização específica, deve-se considerar que, para seu pleno emprego, os detentores das ferramentas existentes, específicas para cada área da construção civil, tenham a preocupação de adequá-las à nova tecnologia, sendo efetivamente capazes de interoperar, colaborar e compatibilizar seus modelos com os demais softwares disponíveis no mercado.

S. Chen *et al.* [1] entendem que a implementação do BIM em projetos pontes se pauta em dois aspectos principais:

I. Tecnológico: Com a aquisição e desenvolvimento de ferramentas que respondam às necessidades do projeto;
II. Processual: Com o desenvolvimento e consolidação de novos métodos de trabalho.

Com base nisso, buscou-se, no presente estudo, identificar o nível de interoperabilidade entre softwares disponíveis no mercado destinados aos projetos de pontes.

REFERENCIAL TEÓRICO

Para identificar o cenário atual de abordagem do estudo, realizou-se uma análise bibliométrica utilizando os códigos de busca mostrados na Tabela 1, carregados na base de dados do Scopus e processados no software de análise e construção de redes bibliométricas VOSViewer.

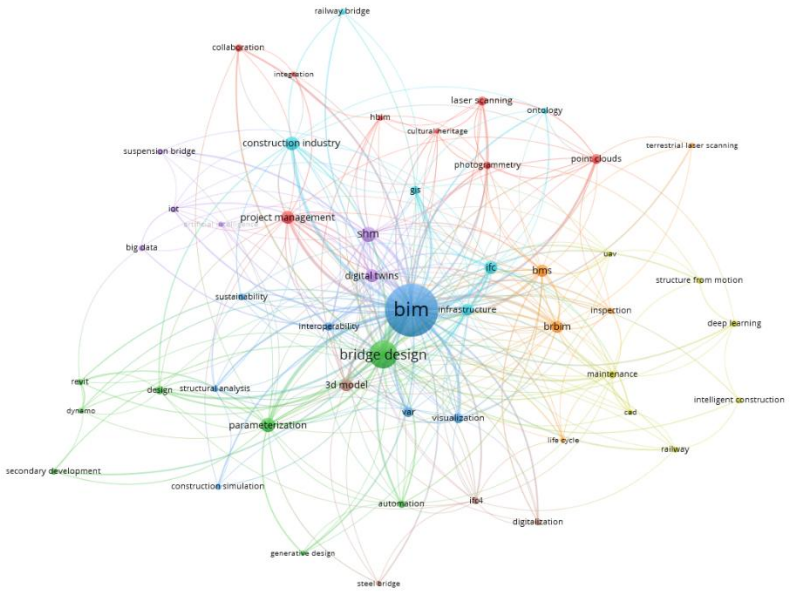
Tabela 1: Códigos de busca.

BUSCA	CÓDIGO	RESULTADOS
BUSCA 01	bridges AND design AND (BIM OR “Building Information Modeling”)	855 resultados
BUSCA 02	bridges AND design AND (BIM OR “Building Information Modeling”) AND interoperability	67 resultados
BUSCA 03	bridges AND design AND (BIM OR “Building Information Modeling”) AND Interoperability AND (IFC OR “Industry Foundation Classes” OR “Open data format”)	19 resultados
BUSCA 04	bridges AND design AND (“analytical model” OR “analysis model” OR “structural model”) AND (BIM OR “Building Information Modeling”)	26 resultados
BUSCA 05	bridges AND design AND (“analytical model” OR “analysis model” OR “structural model”) AND (BIM OR “Building Information Modeling”) AND Interoperability	07 resultados
BUSCA 06	bridges AND design AND (“analytical model” OR “analysis model” OR “structural model”) AND (BIM OR “Building Information Modeling”) AND Interoperability AND (IFC OR “Industry Foundation Classes” OR “Open data format”)	02 resultados

Fonte: Os autores.

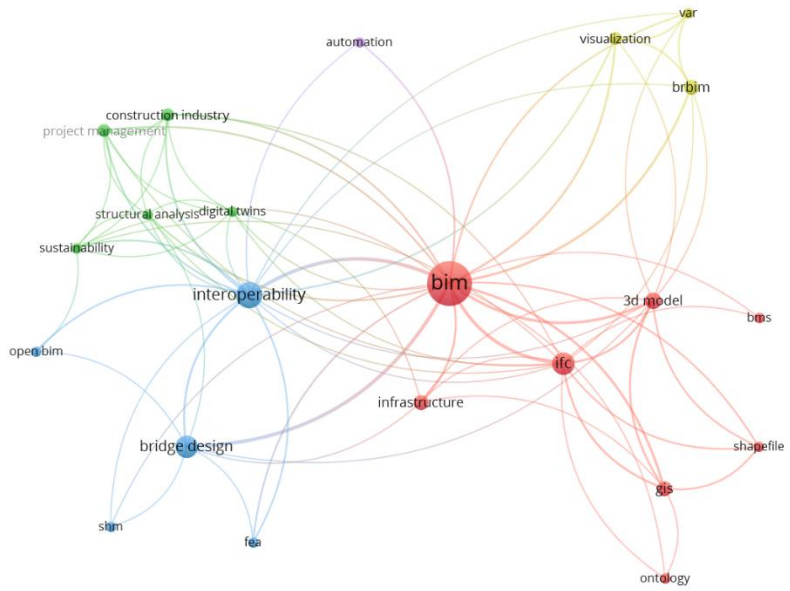
Processando os dados e mapeando-os por co-ocorrência de palavras-chave, para a BUSCA 01 e BUSCA 02, que obtiveram maiores números de publicações, tem-se nas Figura 1 e Figura 2 os seguintes resultados.

Figura 1: Resultados por co-ocorrência de palavras-chave BUSCA 01.



Fonte: Os autores.

Figura 2: Resultados por co-ocorrência de palavras-chave BUSCA 02.



Fonte: Os autores.

Percebe-se que ao adicionar somente o termo “interoperabilidade” à busca, os resultados reduziram consideravelmente. Isso mostra o quanto ainda são escassos os estudos que tratam de projetos de pontes em BIM de forma interoperável, ou seja, utilizando um modelo único em todas as disciplinas de projeto. Além disso, a pesquisa deixa claro o quando ainda é desconhecido o fluxo de projetos em BIM para projetos de infraestrutura, em específico de pontes, mesmo com as atualizações do esquema de dados IFC (*Industry Foundation Classes*) para que elementos específicos de pontes possam ser lidos e interpretados.

DEFINIÇÕES DE REQUISITOS MÍNIMOS DE INFORMAÇÕES DO MODELO

Em um cenário ideal de fluxo BIM, os projetistas usariam o modelo de informações para geração de modelos analíticos estruturais, evitando retrabalhos. Essa prática reduziria tempo de projeto, aumentaria a precisão do modelo analítico e resultaria em uma maior coordenação [2].

A troca de informações para análise estrutural é muito procurada e o nível de interoperabilidade não é suficientemente elevado para que, no ambiente BIM, se dê de forma precisa e eficiente. Assim, o emprego o BIM em projetos estruturais só será efetivo e benéfico quando a integração entre as diferentes ferramentas evoluir [2].

De acordo estudos recentes, a solução atual é a manipulação do IFC através de linguagens computacionais que varrem o modelo e identificam os elementos estruturais, suas vinculações e condições de contorno e fazem um pareamento com a linguagem de programação da ferramenta de cálculo. Além disso, busca-se dentro do IFC as definições de entidades de cada elemento e seus relacionamentos para transformá-los em um modelo FEM equivalente [3].

Zhang *et al.* [4] desenvolveram uma plataforma online para conversão bidirecional do modelo arquitetônico salvo em IFC para formatos de arquivos de softwares de modelagem estrutural proprietários. O projeto central foi o desenvolvimento de um algoritmo que mapeia no modelo arquitetônico salvo em IFC todas as informações necessárias a geração do modelo estrutural.

Para utilizar um arquivo padrão aberto, sem que seja necessárias manipulações por programação, está em fase de desenvolvimento a metodologia de Troca de Informações Interpretadas (IIE). Uma das IEE

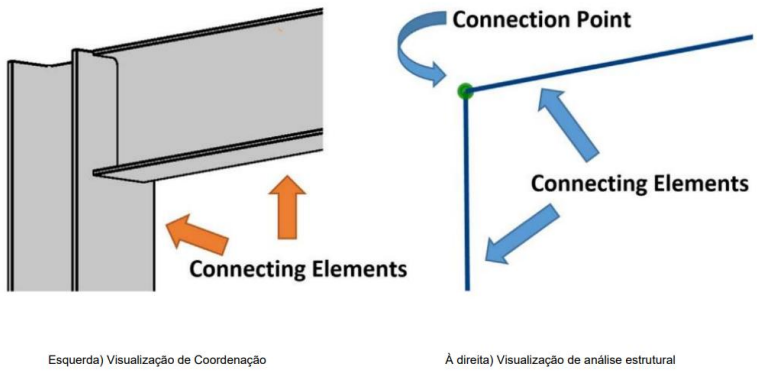
mais comumente utilizada é o MVD (*Model View Definition*), de forma simples, trata-se de um filtro de informações contidas no IFC, definido de acordo com as necessidades estabelecidas para a finalidade a qual o modelo será utilizado. Alguns MVDs mais conhecidos são:

I. Coordination View (CV): Com atualização mais recente CV V2.0 é destinado a importações de modelos IFC que visam a coordenação e a compatibilização dos diferentes modelos. Esta versão é o único MVD oficial mantido regularmente para a versão IFC 2x3 2.0;
II. Design Transfer View (DTV): Implementado a partir do IFC4, é indicado para importar modelos que possibilitem posteriores edições de acordo com as necessidades específicas de cada disciplina de projeto. Atualmente sua versão mais recente é a DTV V1.0.;
III. Reference View (RV): Também implementado a partir do IFC4, foi desenvolvido para utilização em fluxos de trabalho em que o modelo é importado apenas como um arquivo de leitura, sem a possibilidade de edição;
IV. Structural Analysis View (AV): É o ideal para troca de informações em formato de arquivo não proprietário para fins estruturais. Porém, apesar da buildingSMART [8] já trazer requisitos de informação específicos para filtrar, ler e interpretar estas informações, nenhum software BIM o implementou.

Percebe-se que os MVDs em uso são apropriados para coordenação e visualização do modelo. A abordagem na importação por Coordination View é a visualização do elemento para definição dos limites que ele ocupará no espaço [2]. Já a abordagem na utilização do Structural Analysis View é a representação topológica, traduzindo o sólido em uma representação via elementos finitos e suas conexões traduzidas em vinculações e condições de contorno.

Na visualização de análise estrutural, os elementos são representados como barras e planos e as informações de seção transversal, geometria e material são lidas e interpretadas para atribuição de cargas ao modelo. A Figura 3 mostra a diferença entre estes MVDs.

Figura 3: Representações diferentes de um ponto de conexão.



Fonte: RAMAJI; MEMARI [2]

Em termos de entidades IFC, na visualização de análise estrutural todos os elementos são representados apenas por uma única instância, diferente da definição na visualização por coordenação [2].

A Visualização de Coordenação foi projetada para especificar as informações gerais dos elementos de construção. Nessa abordagem, as relações de conectividade entre diferentes elementos não são preocupantes, portanto, não são incluídas no modelo.

Assim, quando o IFC é gerado, softwares de cálculo estrutural não conseguem aproveitar este modelo para fins de análise, pois ao varrer o arquivo ifc, não encontram nele as informações que necessitam.

A partir disso, o presente trabalho mostra como um arquivo IFC gerado a partir da visualização de coordenação de um modelo de ponte produzido no Revit é lido e interpretado por softwares específicos de análise e dimensionamento.

METODOLOGIA

Uma das dificuldades na busca pelos softwares a serem analisados é a escassez no mercado. Como observado por Serra *et al.* [5] existe um pequeno grupo de softwares que possuem potencial e ferramentas capazes de conceber a análise estrutural de elementos de obras de artes especiais, dentro deste grupo, se torna ainda mais difícil encontrar algum que possa ser considerado efetivamente BIM.

A maioria deles não tem implementada a última versão do IFC, que estabelece classes específicas de elementos de pontes.

Das soluções disponíveis, as seguintes opções foram consideradas:

1. Scia Engineer (Nemetschek);
2. Allplan Engineering (Allplan);
3. Csi Bridge (Csi);
4. Open Bridge (Bentley);

Para a análise, alguns critérios foram definidos para a obtenção de resultados numéricos que facilitassem a comparação entre os objetos de estudo tais como: Leitura adequada da entidade IFC, interpretação semântica, capacidade de identificação do material utilizado, reconhecimento da geometria para extração de dados de área, volume e peso, e capacidade de importar dados de propriedades intrínsecas do material.

Assim, conseguindo ler e interpretar estas informações, se identificará o grau de interação entre o modelo BIM com os softwares analisados [5], minimizando retrabalhos e mantando um fluxo direto.

CONCEPÇÃO DO MODELO BIM (PROJETO-BASE)

Para o desenvolvimento do projeto-base, utilizou-se o software Revit, da Autodesk. A escolha se deu pelo fato do uso gratuito para fins acadêmicos e por ser uma ferramenta já consolidada no mercado, com um nível alto de desenvolvimento em relação a modelagem BIM e por ser possível, através dele, a exportação do modelo por formato neutro.

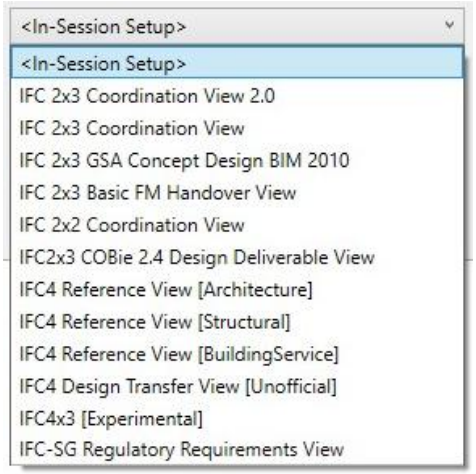
O Revit é certificado pela *buildingSMART* [8] - organização internacional responsável pelo avanço digital na indústria da construção civil e que gerencia o desenvolvimento do padrão IFC - para os requisitos de troca apresentados na Figura 4. Em sua atual versão, possibilita a exportação de IFC2x3, IFC4 e está em fase de implementação do IFC 4x3. Além disso, possui os MVDs predefinidos que são apresentados na Figura 5. Para o estudo, a versão utilizada foi a IFC 2x3 2.0, já que é a versão aceita na importação pelos softwares de análise. O modelo produzido é mostrado nas Figura 6 e Figura 7.

Figura 4: Versões IFC e MVDs certificados pela *buildingSMART* para o Revit.

EMPRESA	SOFTWARE	VERSÃO IFC	MVD	VÍNCULO	STATUS DE IMPLEMENTAÇÃO
Autodesk	Autodesk Revit	IFC4	Architectural Reference Exchange	Importação	Finalizada
Autodesk	Autodesk Revit	IFC4	Architectural Reference Exchange	Exportação	Finished
Autodesk	Autodesk Revit	IFC4	Structural Reference Exchange	Exportação	Finished
Autodesk	Autodesk Revit	IFC4	MEP Reference Exchange	Exportação	Finished
Autodesk-R	Autodesk Revit Architecture	IFC 2x3	CV2.0-Arch	Exportação	Finished
Autodesk-R	Autodesk Revit Architecture	IFC 2x3	CV 2.0	Importação	Finished
Autodesk-R	Autodesk Revit LT	IFC 2x3	CV2.0-Arch	Exportação	Finished
Autodesk-R	Autodesk Revit LT	IFC 2x3	CV 2.0	Importação	Finished
Autodesk-R	Autodesk Revit MEP	IFC 2x3	CV2.0-MEP	Exportação	Finished
Autodesk-R	Autodesk Revit MEP	IFC 2x3	CV 2.0	Importação	Finished
Autodesk-R	Autodesk Revit Structure	IFC 2x3	CV2.0-Struct	Exportação	Finished
Autodesk-R	Autodesk Revit Structure	IFC 2x3	CV 2.0	Importação	Finished

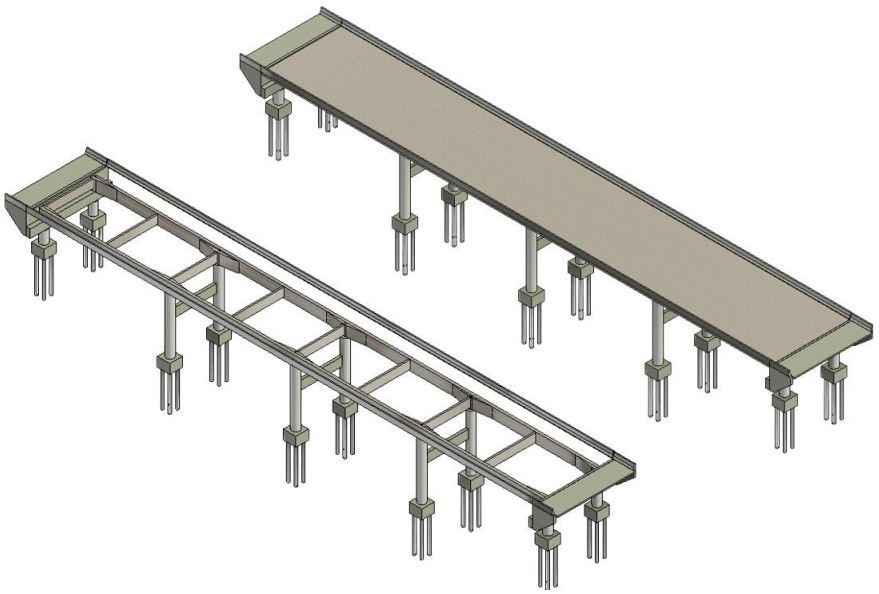
Fonte: Adaptado de *buildingSMART* [8].

Figura 5: MVDs disponíveis pelo Revit.



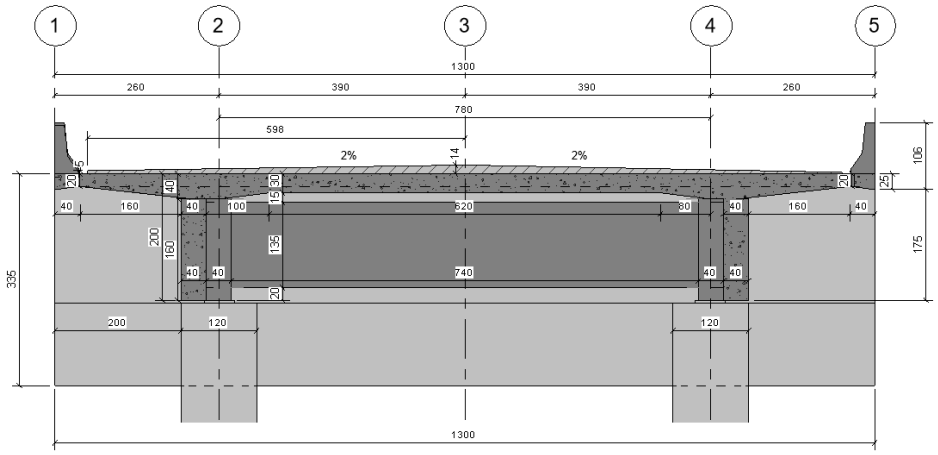
FONTE 1: Os autores.

Figura 6: Modelo BIM do projeto base.



Fonte: Os autores.

Figura 7: Seção transversal do modelo base.



Fonte: Os autores.

CONFIGURAÇÃO DA EXPORTAÇÃO VIA IFC

Para a definição das classes IFC de cada elemento, utilizou-se a biblioteca da *buildingSMART* [7]. As Tabela e Tabela trazem estas definições.

Tabela 2: Classes IFC de cada elemento.

ELEMENTOS ESTRUTURAIS	CLASSES IFC
Bloco de Fundação	IfcFooting - Pilecap
Estacas	IfcPile
Pilar	IfcColumn
Travessa	IfeBeam - Piercap
Berço	IfcStructuralSurfaceMember
Aparelho de apoio	IfcBearing
Encontro	IfcCurtainWall
Longarina	IfcBeam - Girder Segment
Transversina	IfcDiaphragm
Laje	IfcSlab - Floor
Laje de transição	IfcSlab - Approach Slab
Defensas	IfcWall - Parapet

Fonte: Os autores.

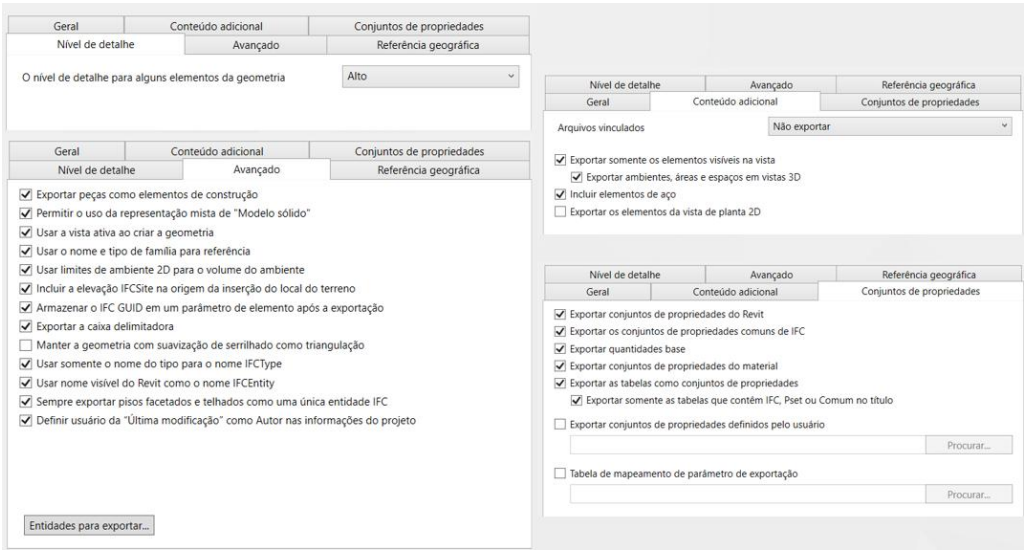
Tabela 3: Parâmetros avaliados.

PARÂMETROS AVALIADOS
Entidade IFC
Semântica
Descrição
Geometria
Material
Propriedades do material
Área da seção
Volume
Peso

Fonte: Os autores.

O modelo carregado com as informações de classe foi então exportado com as configurações apresentadas na Figura 8 . A versão IFC selecionada para exportação foi o IFC 2x3 2.0, uma vez que os softwares receptores avaliados não suportarem a importação de arquivos salvos nas versões IFC 4 e IFC 4x3.

Figura 8: Configurações de exportação do IFC.



Fonte: Os autores.

Para que o vínculo através do IFC possa acontecer de forma plena entre ferramentas distintas, é imprescindível que estas classes sejam adequadamente carregadas ao modelo, de modo a não ocorrer erros de semântica. Algumas dessas classes só foram implementadas com a atualização do IFC para a versão 4x3. A maioria dos elementos específicos de pontes tiveram suas classes definidas nessa nova versão. Assim, softwares que ainda não à tenham implementado, não serão capazes de ler corretamente o modelo.

Este fato é importante tendo em vista que softwares que ainda não tenham a versão atual do IFC interpretam um modelo de ponte como um edifício modelado como ponte, ou seja, os elementos típicos são carregados com informações incorretas e muitas vezes desconhecidas. Caso o software seja somente para dimensionamento e análise de elementos específicos de pontes e não tenha implementado o IFC4x3, apesar do modelo ser concebido com as classes adequadas, o software de análise não conseguirá interpretá-lo e transformá-lo num modelo analítico.

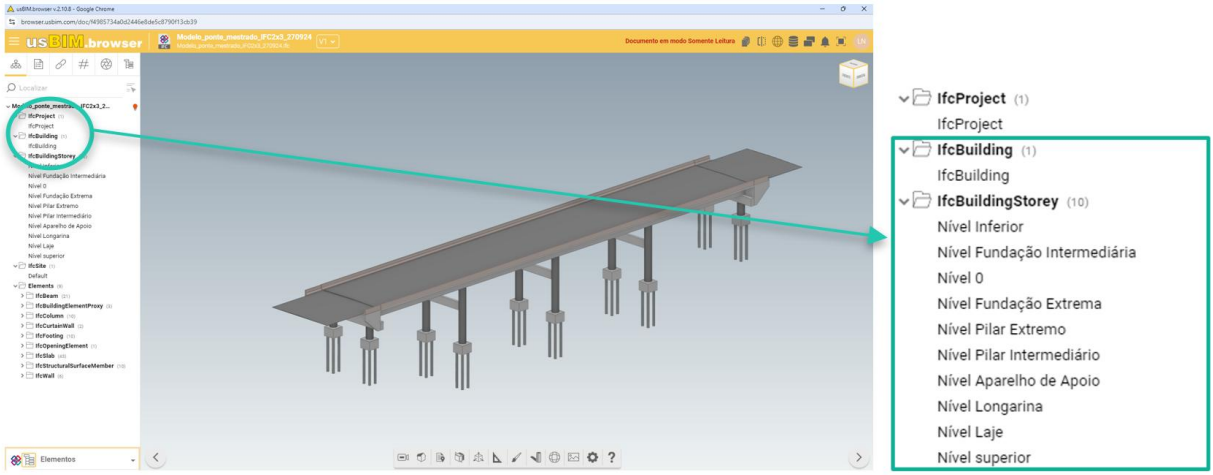
VALIDAÇÃO DO ARQUIVO .IFC SALVO A PARTIR DO MODELO BIM

Existem quatro possíveis origens para os prováveis erros encontrados ao exportar o arquivo salvo em IFC. O erro pode ter origem na forma com que a modelagem foi concebida, na configuração do arquivo IFC, em como o software de origem gera o IFC ou na leitura do arquivo pelo software receptor.

Assim, para que seja possível a identificação da origem destes erros, é necessário validar o arquivo gerado. Para isso, duas formas de validação são utilizadas: A validação por visualizador de IFC e a validação por leitor de código IFC.

A validação por visualizador de IFC foi feita pelo visualizador da empresa italiana ACCA, que possui vários softwares de engenharia. Ao importar o arquivo no visualizador usBIM.browser da ACCA o modelo chegou completo, com todos os elementos corretamente carregados e com as informações devidamente lidas, como mostrado na Figura 9 .

Figura 9: Importação do arquivo IFC no visualizador usBIM.browser



Fonte: Os autores.

Ao ampliar as informações do modelo, pode-se perceber que nas definições do projeto estão especificadas as entidades *IfcBuilding* e *IfcBuildingStorey*. Ou seja, o modelo carregado da ponte é semanticamente definido como um edifício e os elementos da ponte são definidos como elementos de edifício. Isso é importante pois valida o que já foi discutido anteriormente em que ao gerar um arquivo IFC 2x3 os elementos de pontes e o próprio modelo como um todo não tem sua semântica definida corretamente.

Para a validação por leitor de código IFC foi utilizado o validador da *buildingSMART* [6] que varre todo o código do arquivo e identifica erros de sintaxe, esquema, regras normativas e práticas da indústria. Ao carregar o arquivo no validador da *buildingSMART* [6] foram identificados um erro de esquema e um erro de regras normativas, mostrado na Figura 10 . Não foram identificados erros de sintaxe nem de práticas da indústria.

Figura 10: Resultado da validação pelo leitor da *buildingSMART*.



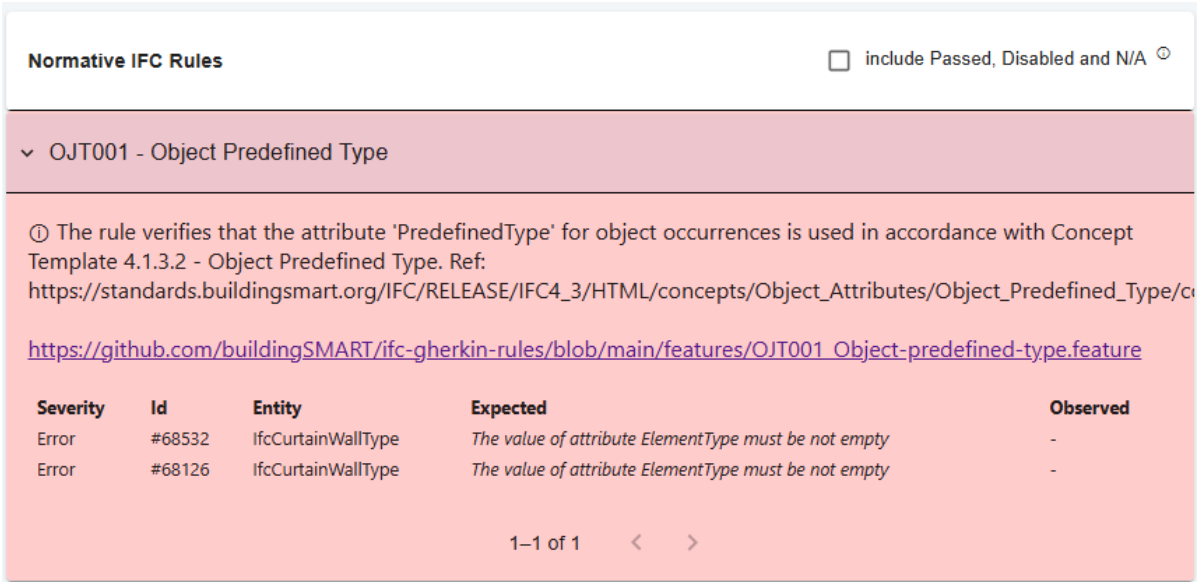
Fonte: buildingSMART [6].

O erro de esquema IFC detectado trata-se da utilização da entidade *IfcPropertySetDefinesType* e está associado com a forma com que o código de associação de propriedades de um determinado elemento

é organizado. Segundo a *buildingSMART* [7], o *IfcPropertySet* é um conjunto que armazena propriedades específicas de uma árvore de propriedades. Alguns conjuntos de propriedades aplicáveis são listados na especificação do objeto no decorrer da modelagem. Portanto, o *IfcPropertySetDefinesType* é um conjunto de propriedades específicas de um tipo definido de objeto. Este erro detectado é importante pois a associação das propriedades de um objeto, por exemplo, uma viga, um pilar ou uma laje é de extrema importância em uma análise estrutural e pode fazer com que o modelo BIM seja incapaz de ser aproveitado como modelo estrutural e extração de esforços. Como não pode ser solucionado diretamente na interface do software de modelagem com o usuário, trata-se de um erro do software ao gerar o arquivo ".ifc".

O erro relativo às regras normativas é relacionado ao atributo "*PredefinedType*" e está associado com a entidade *IfcCurtainWallType*, como mostrado na Figura 11 . Este atributo denota um tipo particular que indicará o objeto mais adiante. Assim, o uso do objeto deve ser estabelecido no nível de subtipos estanciáveis dentro da organização das camadas do IFC. Neste caso em particular, ele deve ser definido pelo usuário se, ao carregar as informações do ifc no elemento dentro do Revit, o atributo "*PredefinedType*" for definido como "USERDEFINED". Este erro tem sua origem na etapa de modelagem e do carregamento de informações do modelo e pode ser corrigido substituindo a opção "USERDEFINED" por "NOTDEFINED".

Figura 11: Descrição do erro relativo às regras normativas.



Fonte: *buildingSMART* [6].

Assim, como resultado da validação do IFC gerado, tem-se dois erros detectados: Um erro relativo ao software de origem do modelo BIM e outro erro relativo à forma com que a modelagem foi concebida e carregada com as informações de classes e entidades.

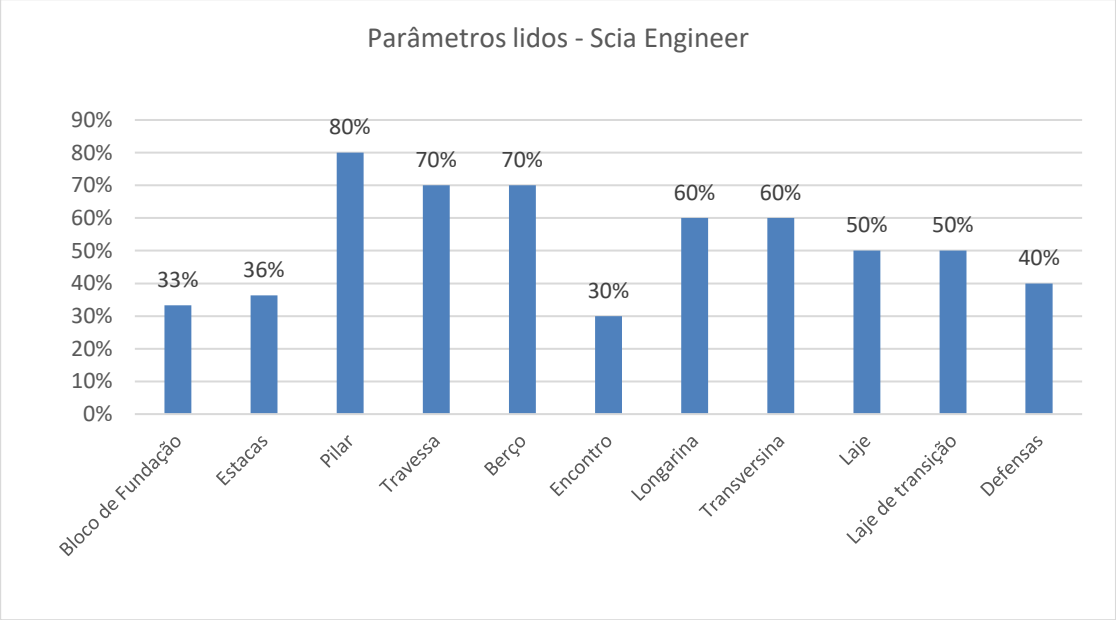
A partir disso, o arquivo foi importado pelos softwares receptores definidos anteriormente e os resultados obtidos são mostrados a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Definindo o modelo e carregando com as classes e parâmetros necessários, deu-se início aos testes de importação. Os softwares de análise estudados foram capazes de ler e interpretar algumas informações que possibilitaram algumas análises.

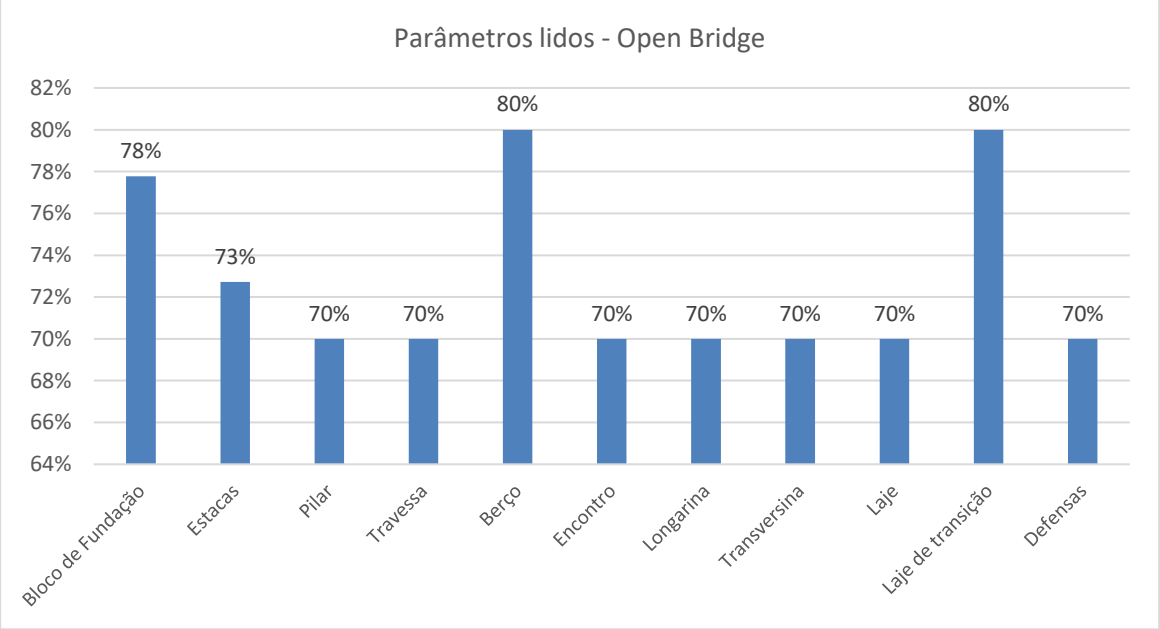
A partir do exposto anteriormente os resultados de importação, leitura e interpretação do modelo BIM foram organizados por software receptor e pelos elementos da ponte, como mostrado nas Figura 12, Figura 13, Figura 14 e Figura 15 . A Figura 16 mostra o resultado geral obtido por cada software.

Figura 12: Resultado dos parâmetros lidos pelo Scia Engineer.



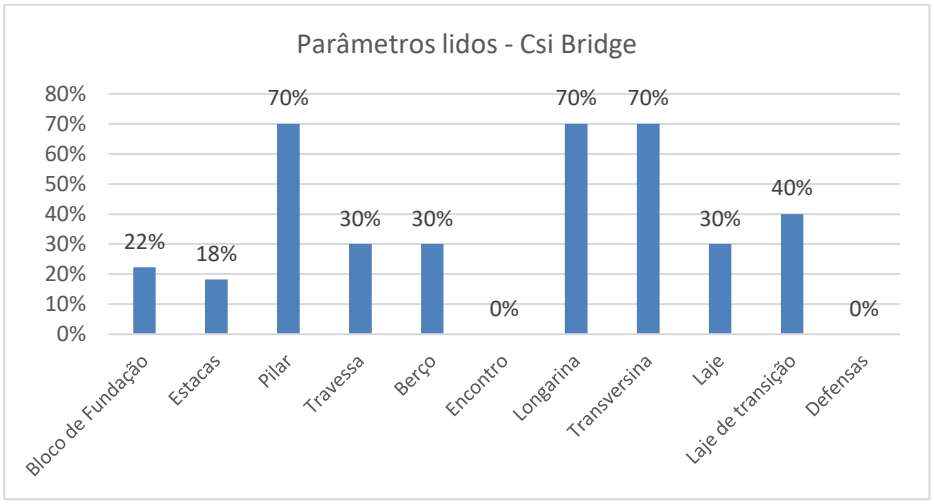
Fonte: Os autores.

Figura 13: Resultado dos parâmetros lidos pelo Open Bridge.



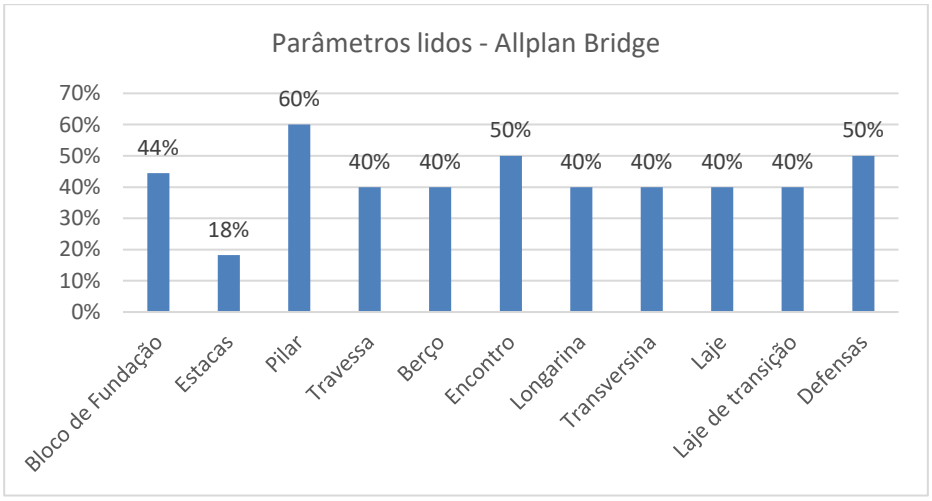
Fonte: Os autores.

Figura 14: Resultado dos parâmetros lidos pelo Csi Bridge.



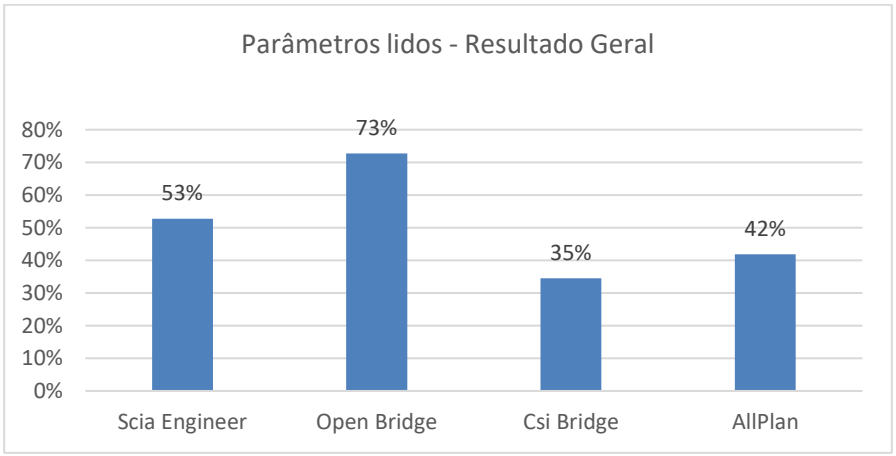
Fonte: Os autores.

Figura 15: Resultado dos parâmetros lidos pelo Allplan Bridge.



Fonte: Os autores.

Figura 16: Resultado geral de parâmetros lidos por cada software.



Fonte: Os autores.

Além do número de parâmetros lidos por cada software é importante avaliar a relevância destas informações para que seja possível gerar o modelo analítico a partir do modelo BIM. Desta forma foram definidos critérios de influência desses parâmetros para a realização de uma análise estrutural e, a partir disso, foram definidos pesos de ponderação da qualidade da leitura do modelo BIM pelo software receptor. Estes pesos estão descritos na Tabela 4 .

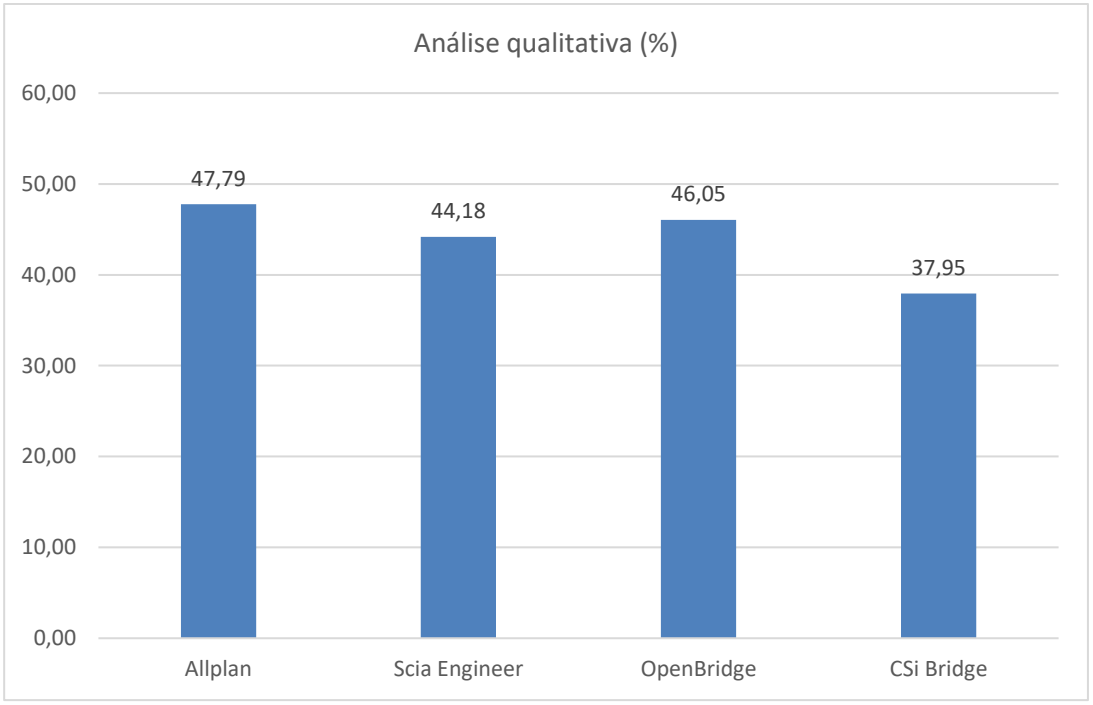
Tabela 4: Peso das informações de acordo com a relevância na produção do modelo analítico.

Semântica	Informações gerais	Geometria	Materiais
Tipo predefinido	Nome GlobalID	Sólido 3D Informações da seção Posicionamento Relacionamento material	Nome do material Categoria Nome das propriedades Valores das propriedades Unidades
0,25	0,05	0,50	0,20

Fonte: Os autores.

A partir da definição dos coeficientes de ponderação e com base nos mesmos critérios já discutidos, foram extraídos os resultados da análise qualitativa, apresentados na Figura 17 .

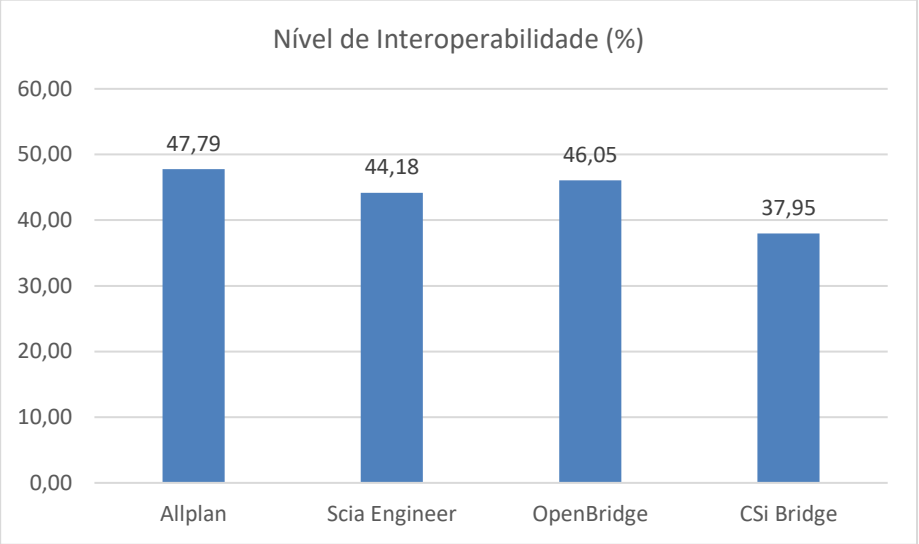
Figura 17:Valores obtidos a partir da análise qualitativa para cada software.



Fonte: Os autores.

Assim, fazendo uma média entre a análise quantitativa, em que se avaliou a quantidade de parâmetros lidos, com a análise qualitativa, em que se avaliou a relevância destes parâmetros para possibilitar a utilização de um modelo único, define-se o Nível de Interoperabilidade dos softwares, que representa a capacidade que os softwares têm de se conectarem e trocarem informações sem perder a semântica atribuída a cada elemento do modelo. Os resultados são apresentados na Figura 18.

Figura 18: Nível de Interoperabilidade obtido por cada software.



Fonte: Os autores.

CONCLUSÃO

O estudo destaca algumas lacunas existentes para que de fato seja possível o fluxo BIM entre softwares para projetos de pontes, além do déficit de estudos existente sobre o tema abordado. Para que o BIM seja plenamente difundido é necessário que os detentores das ferramentas computacionais busquem adequá-las, sendo efetivamente capazes de interoperar, colaborar e compatibilizar seus modelos com os demais softwares disponíveis no mercado.

É comum entre os profissionais da área a necessidade de um fluxo de projeto automatizado onde um único modelo federado, paramétrico e rico em informações seja capaz de conceber soluções distintas de acordo com as necessidades de cada projetista, que utilizarão diferentes ferramentas computacionais mediante os objetivos desejados.

Propõe-se para futuros estudos a investigação das possíveis causas dos níveis de interoperabilidade obtidos neste artigo e quais formar de sanar estes problemas, aumentando a comunicação entre ferramentas diferentes por meio de formados de arquivos não proprietário, como o IFC.

REFERÊNCIAS

[1] S. S. CHEN, *et al.* Accelerating the Design and Delivery of Bridges With 3D Bridge Information Modeling: Pilot Study of 3D-Centric Modeling Processes for Integrated Design and Construction of Highway Bridges. Transportation Research Board. Of the National Academies. New York, out. 2006.

[2] ISSA J. RAMAJI; ALI M. MEMARI. Interpretation of Structural Analytical Models From the Coordination View in Building Information Models. Automation in Construction, v. 90, p. 117-133, fev. 2018.

[3] HASAN A. M. M. *et al.* Geometrically accurate structural analysis models in BIM-centered software. Automaion in Construction, v. 104, p. 199-3213, fev. 2019.

[4] ZHANG X. Y., *et al.* An Industry Foundation Classes Web-based Approach and Platform for Bidirectional Conversion of Structural Analysis Models. Computing in Civil and Building Engineering, p. 390-397, 2014.

[5] SERRA, P. *et al.* Implementação da Metodologia BIM no Projeto de Obras de Arte. 10° Congresso Rodoferroviário Português, Lisboa, Portugal, 2022.

[6] BUILDING SMART. Building Smart International. Disponível em: https://www.buildingSMART.org/users/services/ifc-validation-service/. Acesso em 23/09/2024.

[7] BUILDING SMART. Building Smart International. Disponível em: https://www.buildingSMART.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/ . Acesso em 23/09/2024.

[8] BUILDING SMART. Building Smart International. Disponível em: https://technical.buildingSMART.org/services/certification/ifc-certification-participants/ . Acesso em 23/09/2024.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

BIM e escaneamento a laser para eficiência na construção pública: estudo de caso da praça do papa

BIM and laser scanning for efficiency in public construction: case study of praça do papa

Daniel Garcia Toscano Barreto | Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG | danieltoscano.eng@gmail.com
Brenda Villa Lobos | Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG| villalobos.acad@gmail.com
Leonardo Manzione | Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – POLI-USP| leonardo@coordenar.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14477100

Resumo

A construção civil enfrenta desafios como baixos índices de produtividade, fragmentação de etapas e falhas de gestão que resultam em retrabalhos e desperdícios financeiros. Esses problemas são mais acentuados em obras públicas, que exigem rigor na execução e precisão no planejamento, especialmente em projetos de revitalização e preservação de edificações históricas. A busca por soluções tecnológicas que aumentem a produtividade e minimizem erros no processo construtivo tem se intensificado. Embora diversas ferramentas estejam disponíveis, deve-se escolher aquelas adequadas às especificidades da obra. A execução de obras em patrimônios tombados requer tecnologias que garantam precisão, eficiência e preservação dos detalhes históricos e arquitetônicos. Diante disso, a pesquisa investiga: quais tecnologias podem ser aplicadas na revitalização da Praça do Papa, em Belo Horizonte, considerando os desafios do tombamento e a complexidade da recomposição do piso sem referência sólida? O principal objetivo é analisar as tecnologias adequadas para a execução de obras em patrimônios tombados por órgãos públicos, como a revitalização da Praça do Papa, garantindo a preservação dos elementos históricos e a eficiência na execução. O *Building Information Modeling* (BIM) e o escaneamento a laser surgem como alternativas eficazes, oferecendo maior controle sobre a execução e promovendo a integração entre as etapas de projeto e execução. Essas tecnologias não só reduzem retrabalhos, como garantem maior precisão, atendendo às exigências legais e promovendo transparência na gestão pública. Inicialmente, o projeto foi conduzido com base na metodologia tradicional 2D. No entanto, a complexidade da preservação de um patrimônio tombado e o cumprimento do cronograma exigiram um novo fluxo de trabalho. Esse processo incorporou o escaneamento a laser e o BIM, permitindo maior precisão na captura da realidade física do local e uma execução mais eficiente. Essas ferramentas possibilitaram um monitoramento contínuo e comparações entre o modelo digital e a execução das atividades. As tecnologias promoveram uma execução eficiente, e o fluxo de trabalho foi adequado para atender aos requisitos do BIM. O design do processo de modelagem de superfícies e a alternância das cores do piso otimizaram o trabalho da equipe, evitando o *overmodeling*. Esta pesquisa é um estudo de caso descritivo, que analisa o uso de escaneamento a laser e BIM no projeto de revitalização da Praça do Papa, com base em revisão de literatura e observação das etapas da obra. Os resultados demonstram que a combinação de BIM e escaneamento a laser aumentou a eficiência em todas as etapas. A integração dessas tecnologias permitiu o cumprimento do cronograma e a eliminação de retrabalhos, promovendo uma execução precisa e bem monitorada. Além dos

benefícios técnicos, o uso dessas ferramentas melhorou a transparência e a confiança entre a empresa e a equipe de fiscalização. A comunicação mais eficaz e o compartilhamento contínuo de informações criaram um ambiente colaborativo, resultando em uma gestão ágil e no acompanhamento mais transparente. O estudo conclui que a metodologia adotada, ao integrar o BIM e o escaneamento a laser, mostrou-se viável e eficaz, sugerindo sua aplicação em futuros projetos públicos envolvendo a preservação de patrimônios tombados. Essa abordagem garante a eficiência na execução e a precisão necessária para o cumprimento dos requisitos históricos e arquitetônicos.

Palavras-chave: BIM (Modelagem da Informação da Construção). Escaneamento a Laser. Eficiência na Construção Pública. Preservação de Patrimônios

Abstract

The construction industry faces challenges such as low productivity rates, fragmented phases, and management failures that result in rework and financial waste. These problems are even more pronounced in public works, which require strict execution and precise planning, especially in revitalization and preservation projects of historical buildings. The search for technological solutions that increase productivity and minimize errors in the construction process has intensified. Although various tools are available, it is essential to choose those suited to the specific needs of the project. The execution of works on heritage sites demands technologies that ensure precision, efficiency, and preservation of historical and architectural details. In this context, the research investigates which technologies can be applied to the revitalization of Praça do Papa in Belo Horizonte, considering the challenges of its listed status and the complexity of reconstructing the flooring without solid references. The main objective is to analyze the appropriate technologies for executing public works on heritage sites, such as the revitalization of Praça do Papa, ensuring the preservation of historical elements and efficiency in execution. Building Information Modeling (BIM) and laser scanning emerge as effective alternatives, offering greater control over execution and promoting integration between the design and construction stages. These technologies not only reduce rework but also ensure greater precision, complying with legal requirements and promoting transparency in public management. Initially, the project was conducted using traditional 2D methodology. However, the complexity of preserving a heritage site and meeting the project timeline demanded a new workflow. This process incorporated laser scanning and BIM, allowing for greater accuracy in capturing the physical reality of the site and more efficient execution. These tools enabled continuous monitoring and comparisons between the digital model and the execution of activities. The technologies promoted efficient execution, and the workflow was adjusted to meet BIM requirements. The surface modeling process design and alternation of floor colors optimized the team's work, avoiding overmodeling. This research is a descriptive case study that analyzes the use of laser scanning and BIM in the Praça do Papa revitalization project, based on literature review and observation of the construction stages. The results demonstrate that the combination of BIM and laser scanning increased efficiency at all stages. The integration of these technologies allowed the schedule to be followed, eliminating rework and promoting precise, well-monitored execution. In addition to technical benefits, the use of these tools improved transparency and trust between the company and the inspection team. More effective communication and continuous information sharing created a collaborative environment, resulting in agile management and more transparent oversight. The study concludes that the methodology of integrating BIM and laser scanning proved feasible and effective, suggesting its application in future public projects involving the preservation of heritage sites. This approach guarantees efficient execution, and the precision needed to meet historical and architectural requirements.

Keywords: BIM (Building Information Modeling). Laser scanning. Efficiency in Public Construction. Heritage Preservation.

INTRODUÇÃO

A construção civil lida com obstáculos recorrentes, como baixa produtividade, fragmentação das etapas e deficiências na gestão, que resultam em retrabalhos e perdas financeiras. Esses desafios tornam-se ainda mais críticos nas obras públicas, onde a execução precisa atender a elevados padrões de precisão e planejamento detalhado [1].

Tecnologias como o *Building Information Modeling* (BIM) e o escaneamento a laser têm emergido como soluções eficazes para aumentar a produtividade, minimizando erros e retrabalhos [2]. No

entanto, para que esses benefícios sejam alcançados, é preciso adaptar o uso dessas ferramentas às particularidades de cada projeto.

Nesse sentido, esta pesquisa investiga as tecnologias aplicáveis à revitalização da Praça do Papa, em Belo Horizonte, considerando os desafios de obras em patrimônios tombados e a complexidade da recomposição do piso sem referência sólida. O objetivo principal é analisar a adequação de tecnologias como BIM e escaneamento a laser para a execução de obras em patrimônios tombados, garantindo a preservação dos elementos históricos e a eficiência na execução.

O uso dessas tecnologias oferece uma série de vantagens, como maior controle sobre a execução, promoção da integração entre as etapas de projeto e obra, além de melhorar a transparência na gestão pública. Ao reduzir retrabalhos e garantir o cronograma, essas ferramentas são vantajosas em obras de revitalização, otimizando resultados e promovendo execução eficiente.

CAPTURA DA REALIDADE E MODELAGEM DE PATRIMÔNIOS TOMBADOS

A captura da realidade de edificações históricas é um processo essencial para garantir a preservação e a manutenção adequada de seus elementos arquitetônicos e históricos. Tecnologias como o escaneamento a laser 3D e o BIM são amplamente utilizados para documentar com precisão as condições existentes de uma estrutura, gerando nuvens de pontos tridimensionais que servem como base para a modelagem digital [4] [7] [8]. Segundo Volk *et al.* [4], essas tecnologias são especialmente valiosas para a conservação e restauração de edifícios tombados, pois permitem a criação de modelos que auxiliam na gestão e preservação.

No caso da Praça do Papa, tombada pelo patrimônio histórico, a captura inicial envolveu a utilização de um scanner 3D para registrar a topografia e as condições do piso danificado. O objetivo era gerar um modelo digital que permitisse uma intervenção fiel ao desenho original, respeitando as normas de preservação enquanto otimizava o processo construtivo. O uso combinado de BIM e escaneamento a laser facilitou o monitoramento da obra e a comunicação entre as equipes.

O escaneamento a Laser Terrestre Estacionário (TLS) é uma tecnologia de capaz de capturar detalhes complexos de forma precisa. Patil *et al.* [5] discutem como essa tecnologia pode ser aplicada para a detecção e reconstrução de formas geométricas em nuvens de pontos, como cilindros e outros elementos comuns em edificações históricas [5] [9]. A combinação dessas técnicas com o BIM facilita a criação de um banco de dados tridimensional detalhado, contribuindo para uma gestão contínua e precisa dessas estruturas [4].

Figura 1: Nuvem de pontos Praça do Papa



Fonte: TOSCANO BARRETO, Daniel. Vista aérea da Praça do Papa, Belo Horizonte [imagem]. Fotografia capturada por drone, 2024.

No projeto da Praça do Papa, o escaneamento a laser foi utilizado para registrar a topografia e as condições do piso. Cogima *et al.* [3], explicam que a modelagem precisa de superfícies históricas requer uma abordagem que evite detalhamentos excessivos, enquanto garante que os elementos principais sejam preservados.

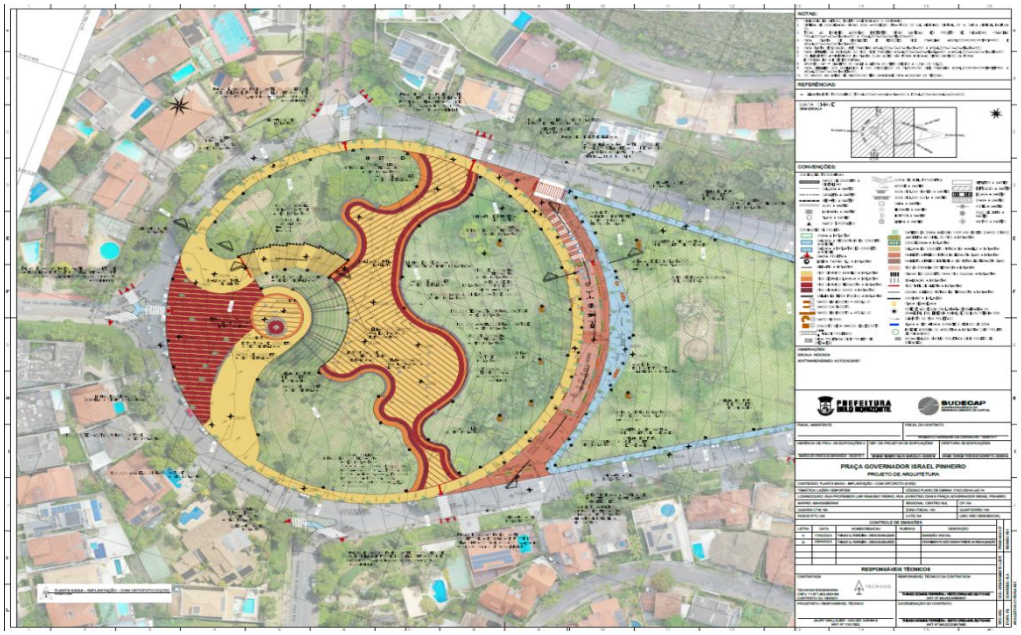
A reconstrução semântica deve ser considerada na modelagem de patrimônios. Xue *et al.* (2019) destacam a importância de padrões repetitivos e simetria em contextos arquitetônicos, o que é particularmente relevante para edifícios históricos, onde esses padrões podem ser utilizados para melhorar a precisão da modelagem. Zhang *et al.* [10] contribuem ao discutir métodos automáticos para a geração de modelos geométricos de infraestrutura civil, aplicáveis à documentação de patrimônios.

Portanto, a captura da realidade e a modelagem de patrimônios tombados demonstram como a combinação de tecnologias avançadas de escaneamento a laser e BIM pode preservar o valor histórico e arquitetônico de edificações, ao mesmo tempo que melhora a eficiência construtiva e de restauração [9] [10].

DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

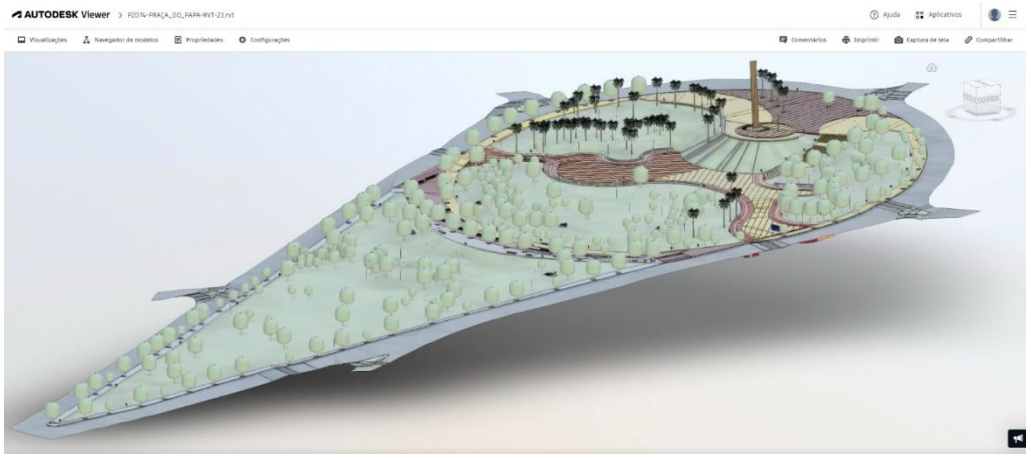
A revitalização da Praça do Papa foi conduzida pela Prefeitura de Belo Horizonte, por meio da Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP). Oficialmente chamada Praça Governador Israel Pinheiro, ela se tornou um marco turístico e cultural da cidade após a visita do Papa João Paulo II em 1980. Situada ao pé da Serra do Curral, tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), a praça possui grande relevância histórica e cultural. Isso reforça a necessidade de uma intervenção cuidadosa que respeite as características originais.

Figura 2: Projeto 2D da reforma do piso



Fonte: TOSCANO BARRETO, Daniel. Projeto 2D da Praça do Papa, Belo Horizonte [prancha de sobreposição: ortofoto e projeto desenvolvido no AutoCAD]. 2024.

Figura 3: Modelo 3D da reforma do piso



Fonte: TOSCANO BARRETO, Daniel. Modelo 3D da Praça do Papa, Belo Horizonte [imagem: fotografia capturada do modelo elaborado no software Revit]. 2024.

O projeto de revitalização envolveu a completa remoção do piso original, que apresentava danos significativos devido à exposição prolongada às intempéries e às movimentações naturais do solo. A reconstrução do novo piso, em cerâmica, exigiu um padrão geométrico complexo, com cores alternadas e formas curvas, abrangendo uma área total de cerca de 10.000 m². Esse processo técnico exigiu precisão para preservar o desenho original da praça, respeitando suas características históricas e estruturais.

A tecnologia BIM foi integrada ao uso de escaneamento a laser, garantindo uma intervenção precisa e alinhada aos requisitos de preservação. O escaneamento a laser permitiu capturar em detalhes as condições físicas da praça, criando uma nuvem de pontos que serviu como base para a modelagem tridimensional. A implementação de um fluxo de trabalho claro e rigoroso, apoiado no Plano de Execução BIM (BEP) da SUDECAP (2024), mostrou-se eficaz na simplificação do modelo geométrico

sem comprometer a precisão. Essa modelagem, realizada no ambiente BIM, foi fundamental tanto para representar o estado existente quanto para planejar e simular as intervenções necessárias.

Figura 4: Captura da realidade em resolução de foto



Fonte: TOSCANO BARRETO, Daniel. Vista da Praça do Papa, Belo Horizonte [imagem: fotografia capturada por scanner laser terrestre, modelo FARO Focus S350]. 2024.

Figura 5: Captura da realidade: visualização da nuvem de pontos



Fonte: TOSCANO BARRETO, Daniel. Vista da Praça do Papa, Belo Horizonte [imagem: captura realizada por scanner laser terrestre, modelo FARO Focus S350]. 2024.

Figura 6: Visualização do modelo 3D



Fonte: TOSCANO BARRETO, Daniel. Vista da Praça do Papa, Belo Horizonte [imagem: captura realizada do modelo elaborado no software Revit]. 2024.

Durante a execução das obras, a integração dessas tecnologias possibilitou o monitoramento contínuo do projeto em tempo real. Comparações frequentes entre o modelo digital e a obra permitiram ajustes imediatos, minimizando erros e retrabalhos, garantindo que os elementos arquitetônicos e históricos fossem preservados conforme previsto.

Outro fator determinante foi a implementação de um ambiente comum de dados (CDE), que permitiu uma comunicação eficaz entre todas as equipes envolvidas. Esse ambiente colaborativo permitiu uma gestão transparente e eficiente do projeto.

Figura 7: Visualização da realidade aumentada do modelo 3D aplicado durante a construção



Fonte: TOSCANO BARRETO, Daniel. Vista da Praça do Papa, Belo Horizonte [imagem: captura realizada do modelo 3D no aplicativo de realidade aumentada AUGIN]. 2024.

A adoção dessas tecnologias contribuiu para lidar com os desafios específicos deste projeto, demonstrando como o uso do BIM e do escaneamento a laser pode não apenas preservar o patrimônio

cultural, mas também otimizar os processos de construção e gestão. A Praça do Papa se consolida, assim, como um exemplo significativo de como a inovação tecnológica pode ser aliada à preservação histórica e à eficiência construtiva.

MÉTODO

A metodologia empregada para a revitalização da Praça do Papa foi baseada na integração de tecnologias de escaneamento a laser e modelagem BIM, com o objetivo de garantir a precisão na execução das obras e a preservação dos elementos históricos. O escaneamento a laser foi utilizado como a primeira etapa para capturar com exatidão as condições atuais da praça, criando uma nuvem de pontos tridimensional que serviu de base para a modelagem do projeto.

ESCANEAMENTO A LASER

O escaneamento foi realizado com o uso de um scanner laser terrestre, modelo FARO Focus S350, com alcance máximo de 400 metros. A praça, com uma área total de aproximadamente 37.000 m², foi completamente escaneada, gerando uma nuvem de pontos detalhada com uma resolução de até 6 mm de erro, suficiente para cobrir os pequenos detalhes do piso e garantir a precisão exigida pelo tombamento do local. A resolução buscou equilibrar a qualidade da captura com o tempo disponível para digitalização e processamento.

MODELAGEM BIM

Com a nuvem de pontos gerada, foi possível integrar as informações no *software Revit*, que serviu como a plataforma de modelagem BIM para a revitalização. A modelagem focou em representar as geometrias principais do piso, incluindo as curvas e alternâncias de cores, sem *overmodeling*, ou seja, evitando um detalhamento excessivo que não agregaria valor ao processo de execução. Também foram incluídas as informações relevantes ao planejamento de obra, como o sistema de escoamento pluvial e as juntas de movimentação necessárias para a nova laje de suporte.

O Plano de Execução BIM (BEP) desenvolvido para o projeto especificava a criação de um modelo simplificado, com foco na aferição e controle geométrico, evitando a inclusão de informações desnecessárias que poderiam sobrecarregar o modelo. O BEP foi seguido rigorosamente para garantir que o modelo atendesse às expectativas de todas as partes envolvidas, sem comprometer a eficiência ou aumentar os custos do projeto.

FLUXO DE TRABALHO

O fluxo de trabalho seguiu um processo claro de captura e modelagem, com as seguintes etapas:

1. Planejamento das capturas a laser: Definição dos pontos de escaneamento para cobrir a maior área possível e otimizar o tempo em campo.
2. Digitalização a laser: Execução do escaneamento da praça, priorizando a captura detalhada das curvas do piso e dos elementos arquitetônicos.
3. Processamento dos dados: Geração da nuvem de pontos e importação para o software BIM.
4. Modelagem 3D: Desenvolvimento do modelo geométrico com base na nuvem de pontos, incorporando as características do piso e o novo sistema de drenagem.
5. Integração com o CDE: Compartilhamento contínuo das informações e modelos através do ambiente comum de dados (CDE), permitindo a colaboração em tempo real entre as equipes de fiscalização, execução e projeto.

O uso do CDE integrou as equipes, garantindo controle e transparência.

MONITORAMENTO EM TEMPO REAL

Durante a execução das obras, o modelo BIM foi utilizado para comparar o progresso em campo com o projeto original. A cada etapa da obra, novas leituras com o *scanner* a laser eram feitas, permitindo que eventuais discrepâncias fossem identificadas e corrigidas de forma ágil. Esse processo minimizou os retrabalhos e garantiu que o cronograma fosse cumprido com precisão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação integrada das tecnologias de escaneamento a laser e BIM na revitalização da Praça do Papa demonstrou resultados significativos em termos de eficácia, precisão e preservação de elementos históricos. O uso do escaneamento a laser permitiu a captura detalhada das condições atuais da praça, criando uma base sólida para a modelagem tridimensional e o acompanhamento da execução em campo. Essa abordagem não apenas garantiu fidelidade ao desenho original da praça, especialmente nas curvas e padrões do piso, mas também respeitou todas as exigências de preservação associadas ao tombamento.

A adoção de um fluxo de trabalho estruturado, orientado pelo Plano de Execução BIM (BEP) da SUDECAP, revelou-se eficiente na simplificação do modelo geométrico, preservando sua precisão. A adoção de um ambiente comum de dados (CDE) também se destacou na promoção da transparência e a colaboração entre as equipes envolvidas, resultando em uma comunicação mais eficiente e um controle rigoroso sobre os prazos e os custos da obra.

A principal contribuição desta pesquisa reside na validação do uso combinado de BIM e escaneamento a laser como uma metodologia eficaz para projetos de revitalização de patrimônios tombados. A combinação tecnológica garantiu a preservação dos detalhes arquitetônicos, minimizou os retrabalhos, cumpriu o cronograma e promoveu uma execução bem monitorada e ágil. Esses resultados mostram que a integração tecnológica pode ser replicada em outros projetos públicos de preservação, beneficiando a eficiência da gestão pública.

Pesquisas futuras podem explorar a integração de realidade aumentada e virtual ao BIM para melhorar o acompanhamento em obras de patrimônios tombados. Estudos sobre tecnologias de captura da realidade, como escaneamento a laser, e o uso de inteligência artificial para automatizar a modelagem e reconhecimento de padrões também são promissores. Essas abordagens podem aprimorar a preservação e eficiência nas obras públicas.

Por fim, o sucesso da revitalização da Praça do Papa sugere que essa abordagem pode ser replicada em outros projetos públicos que envolvem a preservação de patrimônios históricos, agregando valor na eficiência construtiva respeitando as normas de preservação. O uso dessas tecnologias, além de melhorar a precisão na execução, aumenta a confiança entre as partes envolvidas e garante uma gestão mais sustentável e transparente de obras públicas.

REFERÊNCIAS

[1] BLANCO, J. L; JANUASKAS, M.; RIBEIRINHO, M.J. Beating the low-productivity trap: How to transform construction operations. McKinsey & Company, Global Editorial Services, julho de 2016. Disponível em: https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/beating-the-low-productivity-trap. Acesso em: 22 setembro 2024.

[2] CHEN, Q.; ZHAO, X.; LI, H. Applications of laser scanning and Building Information Modeling in the management of buildings. Automation in Construction, v. 122, p. 103-117, ago. 2021.

[3] COGIMA, C. K.; NASCIMENTO, R. V. C.; PAIVA, P. V. V.; CARVALHO, M. A. G.; DEZEN-KEMPTER, E. Scan-to-HBIM aplicado à igreja da Pampulha de Oscar Niemeyer. Gestão e Tecnologia de Projetos, v. 15, n. 1, p. 117-134, jan. 2020. DOI: https://doi.org/10.11606/gtp.v14i1.152828.

[4] KEDZIERSKI, M.; FRYSKOWSKA, A. Methods of laser scanning point clouds integration in precise 3D building modelling. Measurement, v. 74, p. 221-232, maio 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.07.015.

[5] PATIL, A. K.; HOLI, P.; LEE, S. K.; CHAI, Y. H. An adaptive approach for the reconstruction and modeling of as-built 3D pipelines from point clouds. Automation in Construction, v. 75, p. 65-78, fev. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.12.002.

[6] SUDECAP. Manual de Execução do BEP - Plano de Execução do BIM. Prefeitura de Belo Horizonte. Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/sudecap/manual-de-execucao-do-bep-plano-de-execucao-do-bim. Acesso em: 10 outubro 2024.

[7] VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs. Automation in Construction, v. 38, p. 109-127, mar. 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023.

[8] XUE, F.; LU, W.; CHEN, K.; WEBSTER, C. J. BIM reconstruction from 3D point clouds: A semantic registration approach based on multimodal optimization and architectural design knowledge. Advanced Engineering Informatics, v. 42, ago. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100965.

[9] WANG, Q.; KIM, M. K.; CHENG, J. C. P.; SOHN, H. Automated quality assessment of precast concrete elements with geometry irregularities using terrestrial laser scanning. Automation in Construction, v. 68, p. 170-182, abr. 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.014.

[10] ZHANG, C.; KALASAPUDI, V. S.; TANG, P. Rapid data quality oriented laser scan planning for dynamic construction environments. Advanced Engineering Informatics, v. 30, p. 218-232, abr. 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.03.004.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

BIM e microssimulação de fluxo de pessoas na concepção de estações de Metrô

BIM and passenger flow microsimulation in the design of subway stations

Rodrigo Tamura | Maubertec | rtamura@maubertec.com.br
Willian Rafael da Silva | Maubertec | wsilva@maubertec.com.br
Guilherme Tavares | Maubertec | gsilva@maubertec.com.br
Renata Rohm | Maubertec | rrohm@maubertec.com.br
João Paulo Ranazzi | Maubertec | jranazzi@maubertec.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14477144

Resumo

A crescente demanda por transporte público nas grandes metrópoles impulsiona a busca por soluções inovadoras para otimizar a experiência do usuário e a eficiência operacional. A Modelagem de Informação da Construção (BIM) tem revolucionado a forma como projetos de infraestrutura são concebidos, construídos e gerenciados. O BIM oferece um modelo digital integrado e colaborativo, permitindo a visualização e análise detalhada de todos os elementos do projeto, desde a arquitetura até os sistemas de engenharia. Essa representação virtual possibilita a simulação de diferentes cenários e a identificação de possíveis interferências antes mesmo da construção, reduzindo custos e otimizando o processo de tomada de decisão. No âmbito do transporte metroviário, o fluxo de pessoas na estação é um fator crucial para a eficiência, segurança e satisfação dos usuários. Nesse contexto a microssimulação de fluxo de passageiros emerge como uma ferramenta indispensável para garantir a eficiência e a segurança do sistema. Esta abordagem é crucial para detectar e analisar fenômenos complexos como cruzamentos de fluxos e excessos de usuários em locais específicos, como escadas e corredores. Além disso, permite a análise de diferentes cenários de operação para assegurar o funcionamento e a otimização da infraestrutura projetada. A modelagem do fluxo de pedestres pode ser estática ou dinâmica. Modelos estáticos representam um sistema em um único momento, enquanto modelos dinâmicos simulam as mudanças no sistema ao longo do tempo, oferecendo uma visão mais realista do comportamento das pessoas em um ambiente. Existem duas abordagens para simular o comportamento do pedestre: a macroscópica e a microscópica. A primeira trata os pedestres como um grupo, focando em fluxos e densidades. A segunda analisa cada pedestre individualmente, permitindo maior detalhamento, mas exigindo mais recursos computacionais. Através de um estudo de caso, este artigo apresenta a eficácia da integração do BIM e microssimulação dinâmica na otimização do projeto básico de uma estação de metrô, com o objetivo de melhorar o fluxo de pessoas e a experiência do usuário. Com base em modelos BIM no formato IFC (*Industry Foundation Classes*), o software MassMotion foi empregado para simular a movimentação das pessoas dentro da estação em diferentes cenários. Vale destacar que a estação estudada possui futura integração com duas linhas de metrô distintas, o que torna a análise ainda mais relevante e complexa, uma vez que a capacidade de sua infraestrutura precisa ser dimensionada para atender à demanda combinada. O estudo abordou três cenários: Horário de Pico da Manhã (HPM), Horário de Pico da Tarde (HPT) e evacuação. Os resultados obtidos demonstraram a eficácia da integração do BIM e microssimulação para otimizar o projeto de estações de metrô,

além de garantir celeridade nas alterações de projeto. Foram identificadas diversas oportunidades de melhoria no layout da estação, nos sistemas de sinalização e nos planos de evacuação, resultando em um projeto mais eficiente, seguro e confortável para os usuários.

Palavras-chave: BIM. Microssimulação. Metrô. Fluxo de passageiros.

Abstract

The growing demand for public transportation in large metropolitan areas drives the search for innovative solutions to optimize user experience and operational efficiency. Building Information Modeling (BIM) has revolutionized the way infrastructure projects are designed, constructed, and managed. BIM offers an integrated and collaborative digital model, allowing detailed visualization and analysis of all project elements, from architecture to engineering systems. This virtual representation enables the simulation of different scenarios and the identification of possible interferences before construction even begins, reducing costs and optimizing the decision-making process. In the context of metro transportation, passenger flow within stations is a crucial factor for efficiency, safety, and user satisfaction. In this scenario, passenger flow microsimulation emerges as an indispensable tool to ensure system efficiency and safety. This approach is essential for detecting and analyzing complex phenomena such as flow crossings and overcrowding in specific areas, like stairways and corridors. Additionally, it allows for the analysis of different operational scenarios to ensure the infrastructure's optimal functioning and design. Pedestrian flow modeling can be static or dynamic. Static models represent a system at a single point in time, while dynamic models simulate system changes over time, providing a more realistic view of people's behavior in an environment. There are two approaches to simulating pedestrian behavior: macroscopic and microscopic. The first treats pedestrians as a group, focusing on flows and densities. The second analyzes each pedestrian individually, allowing for greater detail but requiring more computational resources. Through a case study, this article demonstrates the effectiveness of integrating BIM and dynamic microsimulation in optimizing the basic design of a metro station, with the goal of improving passenger flow and user experience. Based on BIM models in the IFC (Industry Foundation Classes) format, the MassMotion software was employed to simulate people's movement inside the station in different scenarios. It is important to note that the studied station will have future integration with two different metro lines, making the analysis even more relevant and complex, as the infrastructure's capacity must be scaled to meet the combined demand. The study addressed three scenarios: Morning Peak Hour (MPH), Afternoon Peak Hour (APH), and evacuation. The results demonstrated the effectiveness of BIM and microsimulation integration in optimizing metro station design, as well as ensuring agility in project modifications. Several improvement opportunities were identified in the station layout, signaling systems, and evacuation plans, resulting in a more efficient, safe, and comfortable project for users.

Keywords: Up to 5 keywords. BIM. Microsimulation. Metro. Passenger flow.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de planejamento de transporte urbano são essenciais para a criação de cidades mais saudáveis e sustentáveis, principalmente com a previsão de que até 2050 cerca de 66% da população mundial viverá em áreas urbanas [1]. Essa expansão urbana tem pressionado as redes de transporte a atenderem um número crescente de passageiros, o que exige soluções inovadoras para garantir fluidez e segurança nas infraestruturas de mobilidade. Estudos mostram que o transporte público é essencial para a sustentabilidade das megacidades, e, à medida que a demanda cresce, a necessidade de otimizar o planejamento de infraestruturas, como estações de metrô, se intensifica, exigindo novas abordagens tecnológicas [2].

As instalações de transporte público e espaços públicos, tradicionalmente projetados com base em práticas empíricas, agora demandam soluções mais eficientes devido à redução do espaço disponível. Para otimizar esses projetos, é essencial utilizar dados quantitativos que avaliem o desempenho esperado, tanto em condições normais quanto em situações extremas, como emergências ou eventos de grande porte. A análise deve considerar a movimentação e as atividades dos pedestres, assim como

os processos de embarque e desembarque, garantindo a eficiência, segurança e qualidade do projeto [3].

O planejamento e a concepção de estações de metrô apresentam uma série de desafios que vão além da infraestrutura física. É essencial garantir não apenas a construção eficiente, mas também a segurança e a fluidez no fluxo de pessoas. A distribuição da demanda de viagens é essencial para o planejamento de transporte, sendo especialmente crítica para o Metrô. Ela determina o carregamento nas linhas, o dimensionamento das estações e de equipamentos relacionados ao fluxo de passageiros, como escadas rolantes e bloqueios, além de influenciar a quantidade de funcionários necessários e a oferta de trens em operação. Para responder a essas demandas, tecnologias avançadas como o *Building Information Modeling* (BIM) e a microssimulação de fluxo de pessoas têm se tornado cada vez mais integradas ao processo de design e planejamento [4].

No BIM, o "I" representa a informação, especificamente os dados vinculados aos objetos 3D do modelo. Esses dados estão associados aos componentes, permitindo que sejam realizadas diversas análises, mesmo sem que estejam diretamente integrados ao objeto em si. O conceito de BIM analítico refere-se à incorporação de dados especializados que podem ser utilizados com o modelo 3D em ferramentas de simulação adicionais ou no próprio BIM. Esse tipo de integração possibilita a previsão do desempenho do edifício, ampliando as opções de análise e permitindo uma avaliação detalhada de múltiplos aspectos do projeto [5].

A metodologia *Building Information Modeling* (BIM) tem se tornado uma ferramenta fundamental em projetos de infraestrutura de transporte devido à sua capacidade de centralizar e organizar informações de forma colaborativa, abrangendo todas as fases do ciclo de vida dos ativos. Em projetos como ferrovias e rodovias, o BIM permite o controle e a gestão integrados de dados de diferentes disciplinas, oferecendo benefícios tanto na fase de construção quanto na de manutenção. Um estudo sobre a aplicação do BIM em projetos de infraestrutura viária destacou que o uso de ferramentas BIM aumenta a precisão das estimativas e melhora o planejamento de manutenção, o que é crucial para ativos que exigem acompanhamento contínuo ao longo do tempo. Além disso, ao utilizar o BIM conforme as diretrizes da ISO 19.650, é possível garantir a colaboração eficaz entre diferentes partes envolvidas, o que facilita a comunicação e reduz os riscos de retrabalho [6] [7].

Na modelagem do comportamento dos pedestres, é importante distinguir entre simulação macroscópica e microscópica, que apresentam abordagens diferentes em termos de detalhamento e processamento de dados. A simulação macroscópica trata os fluxos de pedestres de maneira agregada, utilizando relações analíticas entre densidade, velocidade e fluxo, com um nível de detalhe mais baixo. Essa abordagem tem a vantagem de necessitar de menos informações de entrada e de oferecer soluções mais ágeis, sendo comumente aplicada em projetos de grande escala, como na simulação do tráfego em rodovias. Em contraste, a simulação microscópica analisa o comportamento de cada pedestre individualmente, levando em consideração suas interações de forma dinâmica. Embora essa metodologia seja mais complexa e demande mais tempo de processamento, ela proporciona uma precisão maior, sendo especialmente útil para avaliar o comportamento de fluxos em áreas com alta movimentação, como estações de transporte e locais de eventos, onde as interações são mais detalhadas e precisam de um controle minucioso [8].

MÉTODO

O presente trabalho apresenta os resultados da aplicação de um estudo de microssimulação de fluxo de passageiros integrada a um modelo desenvolvido através de uma ferramenta BIM, o objetivo do estudo foi avaliar o desempenho operacional e a segurança de uma estação de metrô já em sua fase

de projeto básico, com o intuito de otimizar a configuração da estação além de garantir sua conexão eficiente a uma estação existente.

DESCRIÇÃO DO PROJETO

O modelo da estação foi desenvolvido utilizando o software Autodesk Revit, considerando tanto as configurações arquitetônicas atuais quanto as futuras, incluindo áreas de acesso, mezaninos, plataformas e túneis de integração. Foram incorporadas também as estruturas de circulação vertical, como escadas rolantes, escadas fixas e elevadores, assegurando um layout completo e preciso das áreas públicas acessíveis. O projeto foi importado no formato IFC (*Industry Foundation Classes*), garantindo a confiabilidade na troca de informações, tanto geométricas como alfanuméricas. Vale ressaltar que, a modelagem da estação existente foi obtida a partir de um levantamento detalhado realizado por meio de uma nuvem de pontos.

FERRAMENTAS UTILIZADAS

O software MassMotion, desenvolvido pela Oasys, foi utilizado para realizar a microssimulação, dada sua capacidade de simulação em ambientes tridimensionais complexos, importando diretamente os modelos BIM no formato IFC. A ferramenta simula o comportamento dos passageiros em interação com o ambiente, permitindo uma análise detalhada de diferentes cenários operacionais.

DADOS DE ENTRADA

Os dados para as simulações incluíram:

- Demanda de passageiros: projeções para 2029 baseadas em estudos do Metrô de São Paulo, incluindo horários de pico da manhã (HPM) e horários picos da tarde (HPT).
- Configuração dos trens: 132 metros de comprimento, seis carros e capacidade de até 2.000 passageiros. O intervalo entre trens foi fixado em 105 segundos, resultando em uma frequência de 34 trens por hora.

Para facilitar o entendimento dos diferentes movimentos nas simulações, a codificação de cores apresentada na Figura foi aplicada para os tipos de passageiros, enquanto na Tabela estão presentes os valores da demanda de passageiros considerando o tipo de integração, tanto no HPM como no HPT.

Figura 1: Codificação de cor dos passageiros

Linha 02		**Linha 01**		Lindeiro / Ônibus	PcD
Sen. ANH	Sen. BOS	Sen. JAB	Sen. TUC		
					
Azul	Verde	Rosa	Violeta	Cinza	Laranja

Fonte: Os autores.

Tabela 1: Dados utilizados

Linha	Embarques				Desembarques			
	Horário de Pico Manhã (HPM)							
	Lindeiro	Ônibus	Metrô	Total	Lindeiro	Ônibus	Metrô	Total
01	874	1.224	15.074	17.172	7.695	5.208	3.795	16.698
02	11	1.054	3.795	4.860	4.542	4.401	15.074	24.017
	3.163		18.869	22.032	21.846		18.869	40.715
Linha	**Horário de Pico Tarde (HPT)**							
	Lindeiro	Ônibus	Metrô	Total	Lindeiro	Ônibus	Metrô	Total
01	7.695	5.208	3.795	16.698	874	1.224	15.074	17.172
02	4.542	4.401	15.074	24.017	11	1.054	3.795	4.860
Total	21.846		18.869	40.715	3.163		18.869	22.032

Fonte: Os autores.

O arquivo IFC, na versão 2x3, foi importado para o MassMotion, permitindo o mapeamento automático com base nas classes IFC utilizadas. Por exemplo, as escadas rolantes, classificadas como *IfcTransportElement*.ESCALATOR no IFC, foram mapeadas automaticamente como '*Escalator*' no MassMotion.

CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Foram simulados dois cenários principais:

- Operação Normal (HPM e HPT): a análise focou na ocupação das plataformas, fluxos de passageiros nos túneis de integração e uso de escadas e elevadores.
- Evacuação: o cenário de evacuação avaliou a capacidade de esvaziar as plataformas e entrar em uma rota de fuga (uma escada fixa, escada rolante ou escada enclausurada) em 4 minutos no máximo e conduzir os passageiros ao local de relativa segurança (no caso, o nível do mezanino) em no máximo 6 minutos.

PROCEDIMENTO DE SIMULAÇÃO

A simulação foi conduzida em três etapas:

- Configuração do modelo: definição dos fluxos de passageiros e integração entre as linhas metroviárias.
- Execução da microssimulação: simulação dos fluxos de passageiros nos cenários de pico e evacuação, ajustando parâmetros dinâmicos.
- Análise dos resultados: avaliação dos mapas de calor e gráficos de ocupação para identificar gargalos e propor melhorias no projeto.

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

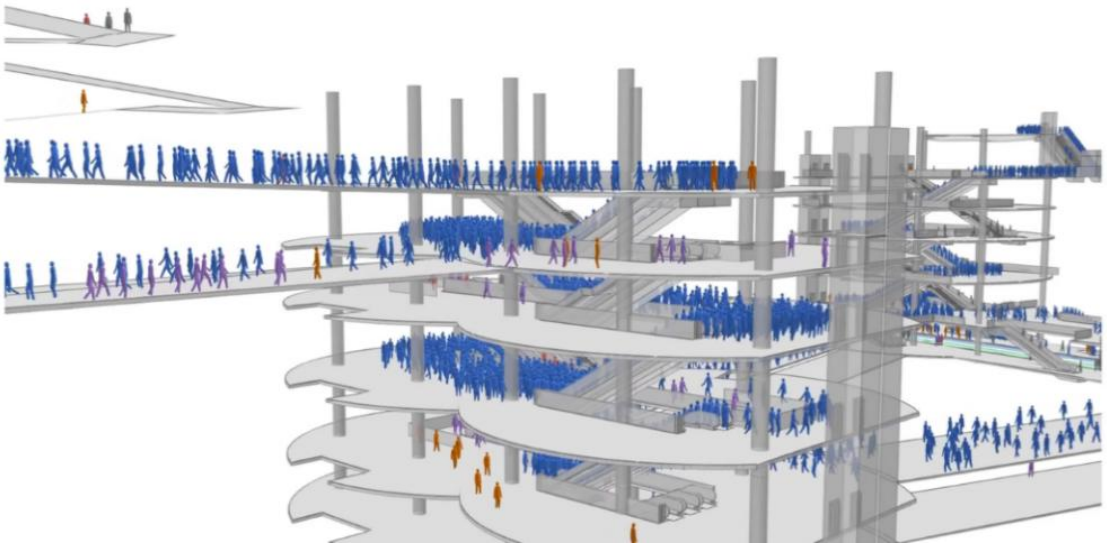
Os principais critérios avaliados foram:

- Nível de Serviço (NdS): classificação baseada na escala de Fruin, de "A" (fluxo livre) a "F" (densidade crítica).
- Tempo de evacuação das plataformas: o tempo máximo de esvaziamento foi estabelecido em 105 segundos, baseado no intervalo entre trens.
- Taxas de fluxo nas escadas rolantes e elevadores: a capacidade de 100 passageiros por minuto em escadas rolantes foi verificada para evitar acúmulos.

AJUSTES E RECOMENDAÇÕES

Com base nas simulações, foram identificados pontos de potencial acúmulo de passageiros, especialmente no poço de integração e túnel de ligação entre as duas linhas durante a transferência (Figura 2).

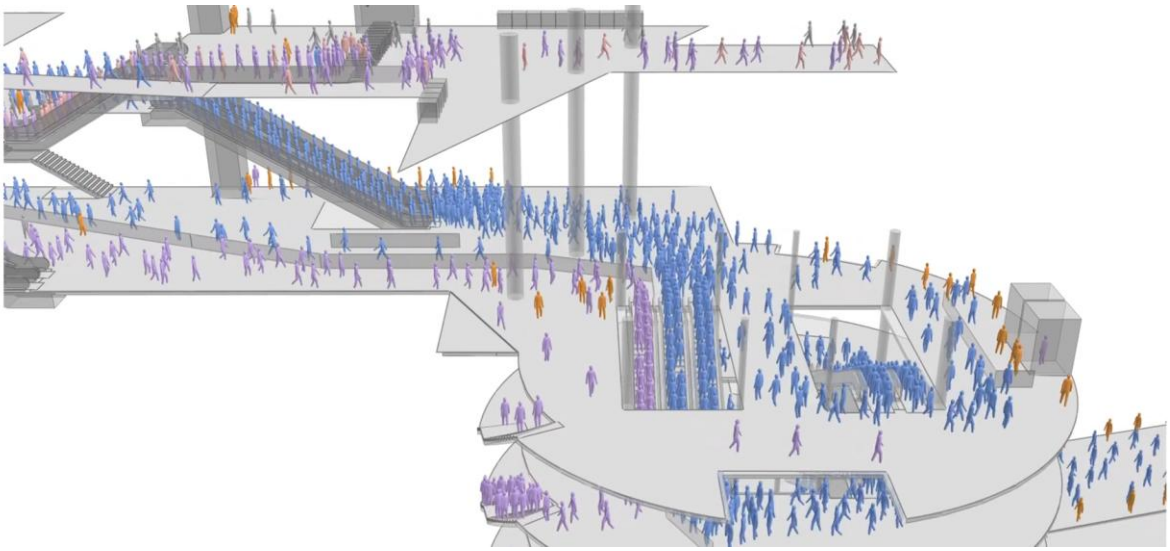
Figura 2: Proposta inicial



Fonte: Os autores.

A partir do ponto de atenção apresentado, mudanças na disposição das escadas rolantes e ajustes operacionais para evitar conflitos entre fluxos de passageiros foram feitos acima do modelo BIM (Figura), a principal modificação visual foi a troca da estrutura em poços secantes para um poço único além dos túneis de ligação que passaram a ter uma largura maior, um nível acima do original e um número maior de escadas rolantes e fixas que auxiliam durante a integração da entre as linhas.

Figura 3: Proposta reformulada



Fonte: Os autores.

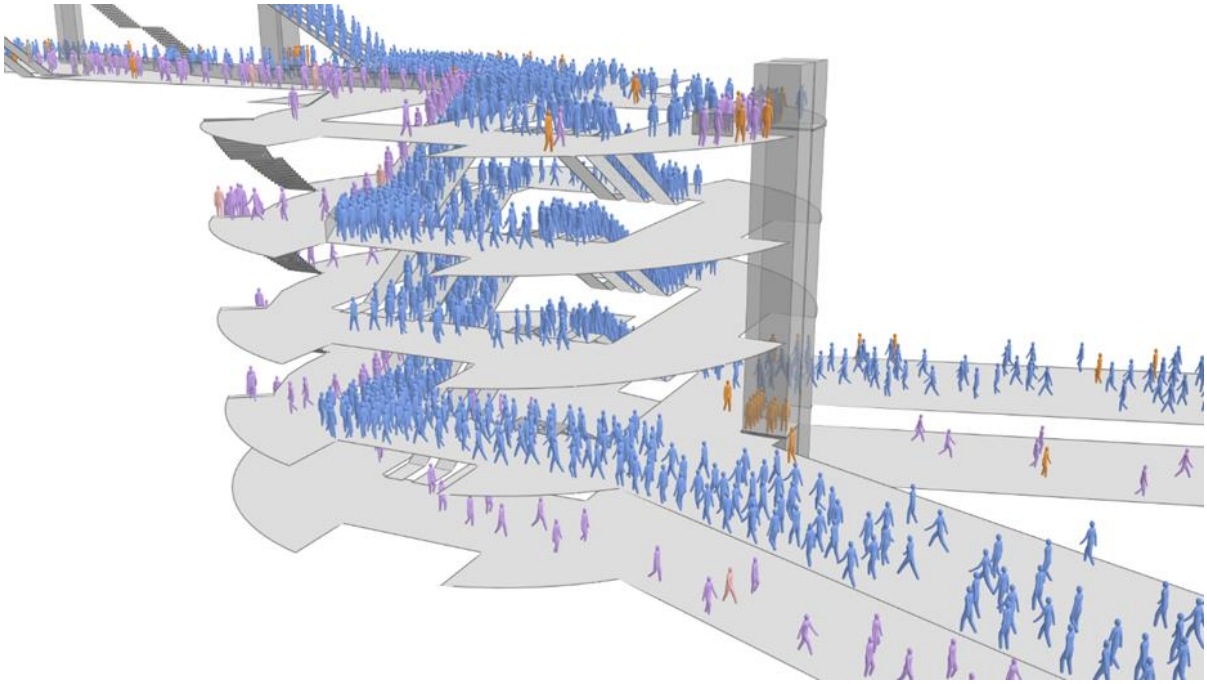
RESULTADOS

A integração da microssimulação com o modelo BIM mostrou ser muito eficaz permitindo uma colaboração integrada entre diferentes profissionais de áreas distintas, facilitando o compartilhamento de informações críticas para a análise do fluxo de pessoas e o desempenho da infraestrutura.

Essa conexão torna viável o ajuste detalhado de elementos como o sentido de abertura de portas e a precisão de informações geométricas, como a largura de escadas rolantes, elevadores e corredores. Neste estudo, serão apresentados os resultados das análises realizadas no software MassMotion, com foco na circulação de passageiros no poço de integração e no cenário de evacuação, evidenciando o impacto dessas simulações na otimização do projeto e na segurança operacional.

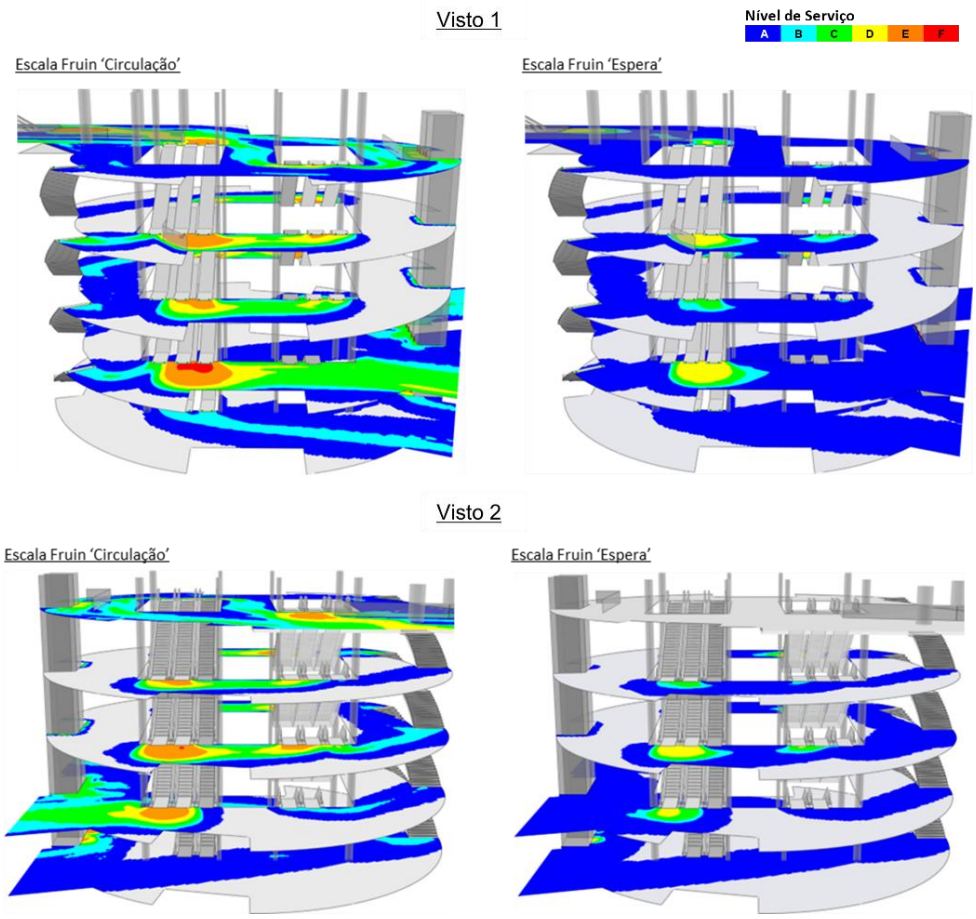
A Figura 4 apresenta a situação do fluxo de pessoas no poço de integração no pico do HPM. A Figura 5 mostra análise do NdS no poço de integração. A Figura 6 apresenta as siglas adotadas para as escadas no poço de integração e a Figura 7 mostra um gráfico com as taxas de fluxo nas escadas rolantes. Nota-se que uma escada rolante em cada nível não tem utilização e assim, pode ser desligada. Mesmo assim, o estudo recomenda a instalação de seis rolantes em cada nível para permitir a inversão da operação das escadas nos períodos diferentes.

Figura 4: Circulação - Poço de integração



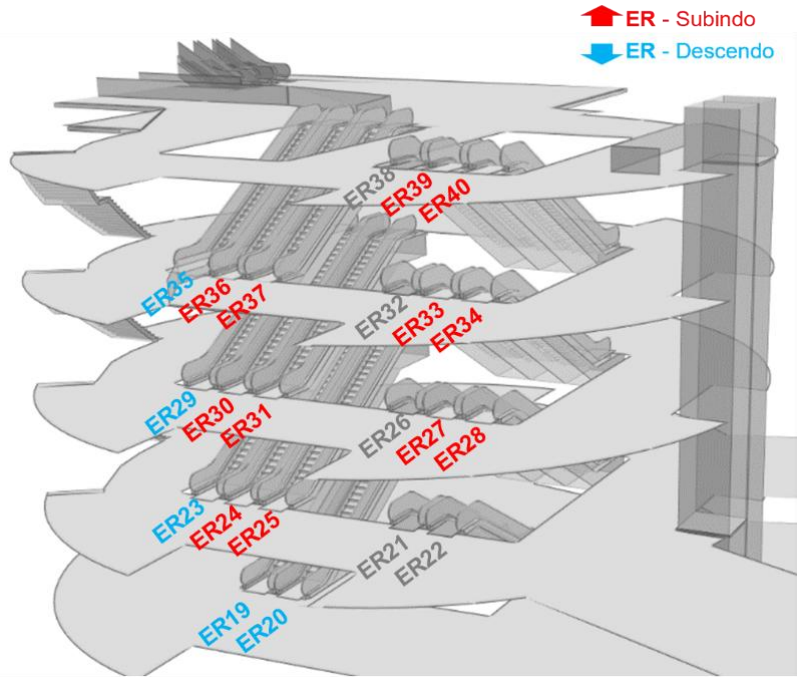
Fonte: Os autores.

Figura 5: Nível de Serviço médio - Poço de integração



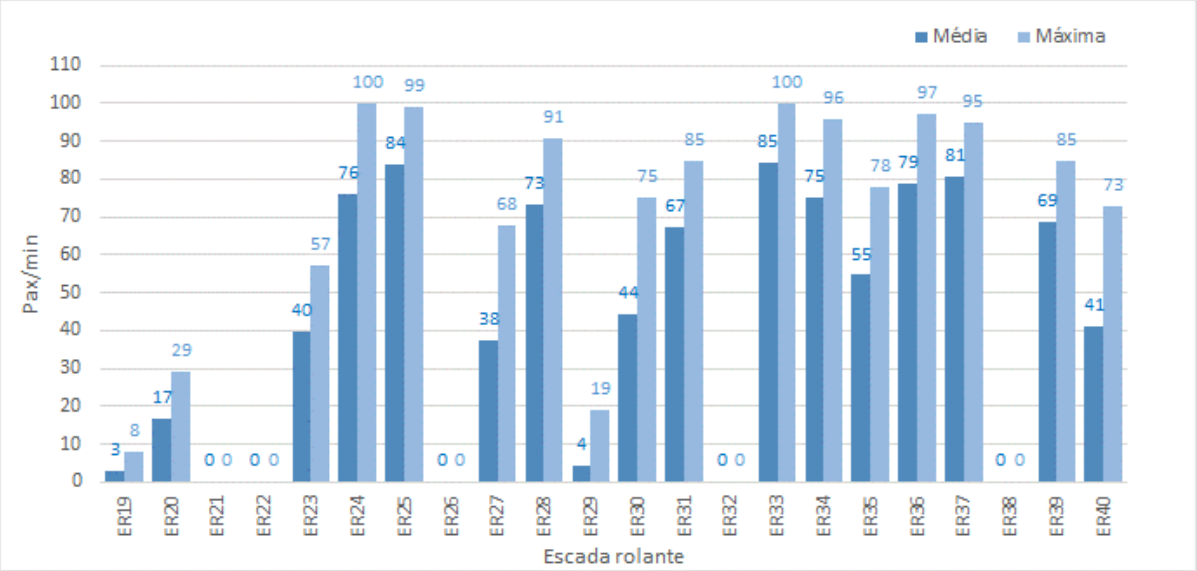
Fonte: Os autores.

Figura 6: Siglas das escadas rolantes no poço de integração



Fonte: Os autores.

Figura 7: Gráfico da taxa de fluxo (máxima e média) nas escadas rolantes

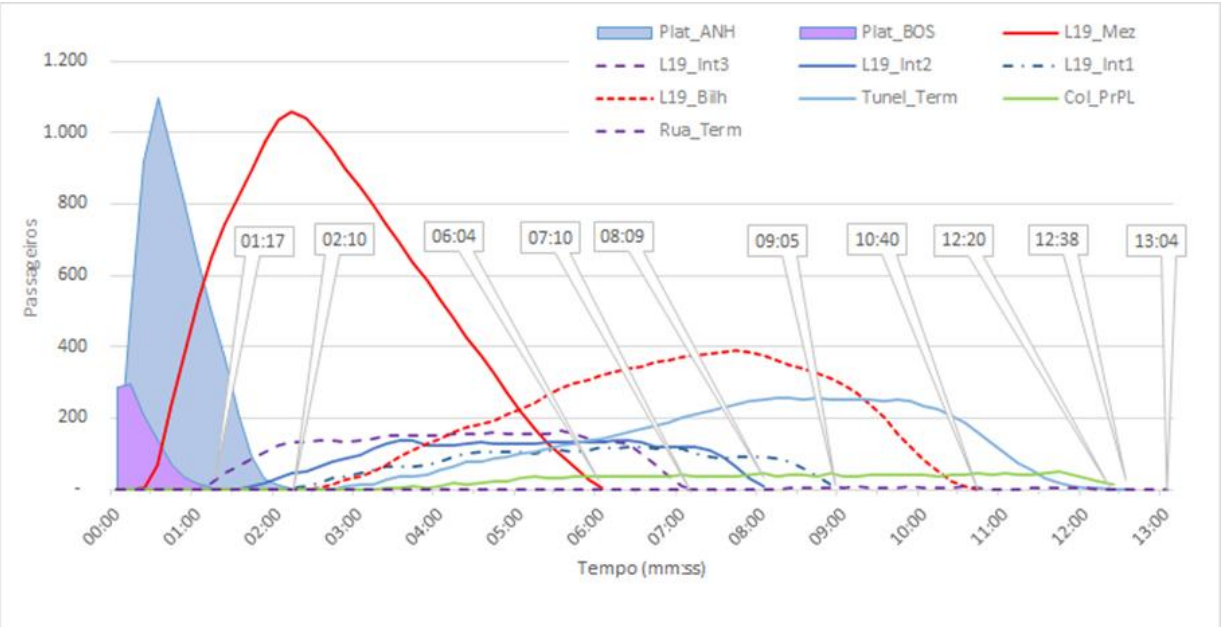


Fonte: Os autores.

Por sua vez, no cenário de evacuação o objetivo do estudo é avaliar o comportamento dos passageiros mais realístico durante uma evacuação da estação. Assim, os resultados de uma análise dinâmica (microssimulação) podem ser diferentes dos de cálculos estáticos, uma vez que leva em consideração a posição tanto dos passageiros quanto das saídas.

A Figura apresenta a quantidade de passageiros e o tempo em que permanecem em cada nível da estação durante a evolução da evacuação, até a chegada dos passageiros fora da estação. Figura representa graficamente os tempos de esvaziamento de cada nível da estação, com tempos até 4 minutos em tons de azul, de até 6 minutos em vermelho e até 8 minutos em amarelo/laranja.

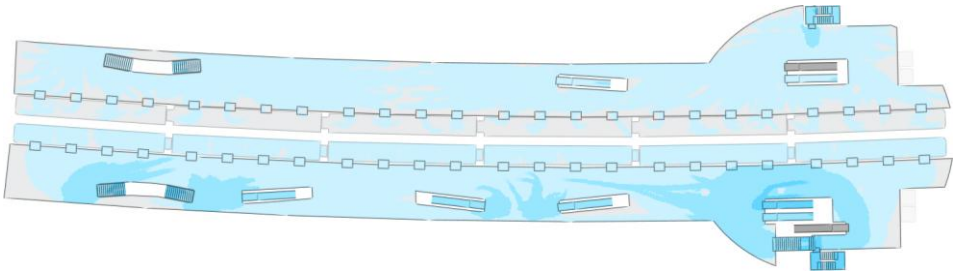
Figura 8: Gráfico do tempo de fuga por nível



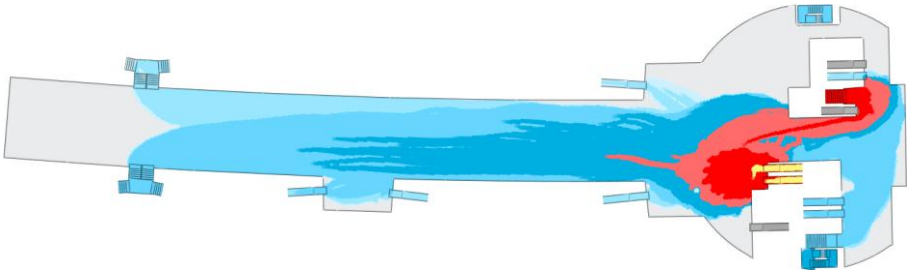
Fonte: Os autores.

Figura 9: Mapa de calor - Tempo de fuga

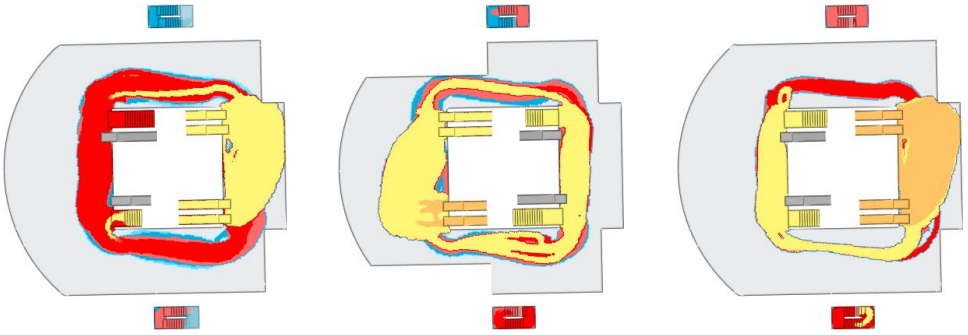
Plataforma



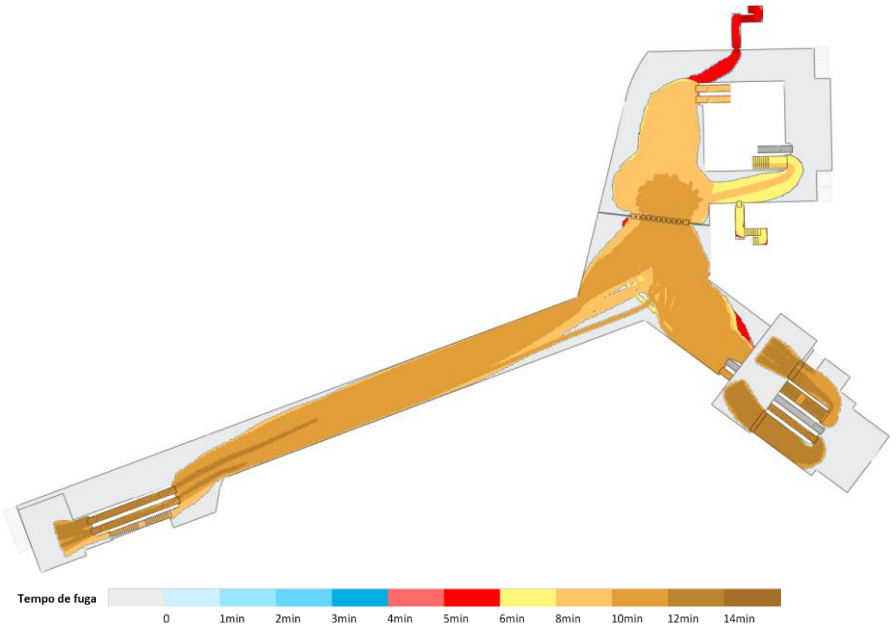
Mezanino e Túneis de Acesso



Intermediário 1 Intermediário 2 Intermediário 3



Hall de Bilheteria e Acessos



Fonte: Os autores

CONCLUSÃO

Ao garantir a precisão desses detalhes, a análise de microssimulação pode refletir com maior fidelidade o comportamento real dos usuários, promovendo resultados mais exatos e confiáveis. Esse nível de precisão é essencial para identificar potenciais pontos de congestionamento e avaliar se o design atual atende aos requisitos de segurança e eficiência em diferentes cenários operacionais. Dessa forma, a integração entre BIM e microssimulação não só aumenta a qualidade da análise, mas também oferece subsídios valiosos para ajustes proativos e melhorias no projeto, assegurando que a estação será capaz de atender à demanda futura de forma eficiente e segura.

REFERÊNCIAS

[1] THONDOO, M.; MARQUET, O.; MÁRQUEZ, S.; NIEUWENHUIJSEN, M. J. Small cities, big needs: Urban transport planning in cities of developing countries. Journal of Transport & Health, [s. l.], v. 19, n. 100944, Set. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jth.2020.100944. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214140520301481?via%3Dihub. Acesso em: 9 out. 2024.

[2] REY-TIENDA, S.; REY-MORENO, M.; MEDINA-MOLINA, C. The transition pathways to sustainable urban mobility: Could they be extended to megacities? Urban science, [s. l.], v. 8, n. 4, p. 179, Out. 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/urbansci8040179. Disponível em: https://www.mdpi .com/2413-8851/8/4/179. Acesso em: 10 out. 2024.

[3] DAAMEN, Winnie. Modelling passenger flows in public transport facilities. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Delft University of Technology, Delft, 2004.

[4] SANTOS, Marcelo Augusto Marques dos. A distribuição da demanda de viagens no metrô e sua aplicação no dimensionamento da oferta de trens. In: 11º CONGRESSO DE TRANSPORTE E TRÂNSITO, 1997, Belo Horizonte. Transporte Humano para um Brasil Urbano. Disponível em: http://files-server.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/01/21/BA29C597-B014-4DF3-A0B6-4DEE55ED2249.pdf. Acesso em: 11 out. 2024.

[5] KENSEK, K.; NOBLE, D. J. Building Information Modeling: BIM in current and future practice. Nashville: Wiley, 2014.

[6] NIELSEN, J.; PELLANDA, P. C.; SMITH, L.; BROWN, M. A review of global efforts in BIM adoption for road infrastructure. Infrastructures, v. 9, n. 8, p. 126, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/infrastructures9080126. Disponível em: https://www.mdpi.com/2412-3811/9/8/126. Acesso em: 11 out. 2024

[7] QUEENSLAND GOVERNMENT. Department of Transport and Main Roads. Building Information Modelling (BIM) for Transport and Main Roads Guideline. Queensland: Queensland Government, 2024. Disponível em: https://www.tmr.qld.gov.au/business-industry/Technical-standards-publications/Building-Information-Modelling. Acesso em: 11 out. 2024.

[8] TERRA, Ulisses Demarchi Silva. Arquitetura em espaços de fluxo: modelagem e simulação em estações metroferroviárias e espaços de multidão. 2014. 157 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Colaboração contínua: explorando conceitos de gestão integrada de projetos, processos BIM e engenharia inteligente como transformação digital na construção

Continuous collaboration: exploring integrated project management principles, BIM processes, and smart engineering with digital transformation

Rafael Ramalho de Souza Silva| Arcadis | rafael.ramalho@arcadis.com
Poliana Avelar Guimarães| Arcadis | poliana.avelar@arcadis.com
Deise Cristina Rosa| Arcadis | deise.rosa@arcadis.com
Wadson Miguel Siqueira Junior| Arcadis | wadson.siqueira@arcadis.com
Marcos Rodrigo Banhato| Arcadis | marcos.banhato.external@arcadis.com

DOI: 10.5281/zenodo.14477366

Resumo

O presente artigo examina como a integração a partir de alguns conceitos de gestão de contratos trazidos por um modelo de contração IPD (*Integrated Project Delivery*) associados à Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling*, BIM) e a Construtibilidade estão transformando profundamente o setor de engenharia e construção. Os estudos de caso apresentados evidenciam a integração e a transformação digital como fatores essenciais para o sucesso de projetos complexos, desde a fase de concepção até a gestão de ativos, demonstrando que a colaboração contínua e a digitalização são indispensáveis para enfrentar os desafios modernos da construção. Ao adotar o BIM, criou-se um ambiente integrado e colaborativo, por meio de ferramentas de modelagem 3D e de um ambiente comum de dados, facilitando a visualização e a resolução de interferências em tempo real. Essa abordagem não só evitou erros e atrasos típicos dos métodos tradicionais, mas também reduziu significativamente a necessidade de retrabalho e, consequentemente, os custos associados. A aplicação de conceitos trazidos do modelo de contratação IPD promoveu uma verdadeira parceria entre todos os envolvidos no projeto (proprietário, projetistas, empreiteiras e demais *stakeholders*), incentivando uma postura proativa e colaborativa em cada fase do projeto. A comunicação transparente e a eficiência na troca de informações foram garantidas, fatores essenciais para o sucesso de projetos de alta complexidade. Assim, os benefícios observados foram: projetos concluídos em um tempo reduzido sem comprometer a qualidade, uma antecipação precisa de conflitos entre disciplinas e uma significativa redução de custos ao longo de todo o ciclo de vida do projeto. Logo, a aplicação de conceitos de gestão integrada, aliados aos processos BIM, fomenta uma engenharia mais inteligente e colaborativa, que podem transformar a maneira como os projetos são desenvolvidos e executados. Estes conceitos e métodos não apenas melhoram a eficiência e a qualidade dos projetos, como também redefinem a forma como a inovação é abordada no setor de

construção. O futuro da construção exige a integração dessas práticas para garantir projetos mais eficientes e eficazes, que atendam às crescentes demandas do mercado.

Palavras-chave: Integração Digital na Engenharia. Colaboração. Modelagem da Informação da Construção. BIM. Transformação Digital.

Abstract

This article examines how the integration of some contract management concepts brought by an IPD (Integrated Project Delivery) contracting model associated with Building Information Modeling (BIM) and Constructability are profoundly transforming the engineering and construction sector. Given the need to deliver sustainable projects (balancing social, economic and environment pillars) and to combine digital and human innovation, the case studies presented highlight Digital Transformation as an essential factor for the success of complex projects, from the conception phase to asset management, demonstrating that continuous collaboration and digitalization are indispensable for facing modern construction challenges. By adopting BIM, an integrated and collaborative environment was created through 3D modeling tools and a common data environment, facilitating real-time visualization and resolution of conflicts. This approach not only avoided errors and delays typical of traditional methods but also significantly reduced the need for rework and the associated costs. The application of some collaboration IPD principles and elements fostered a true partnership between all parties involved in the construction process (owner, designers, contractors, and other stakeholders), sharing risks, benefits, and encouraging a proactive and collaborative attitude at each phase of the project. Transparent communication and efficient information exchange were ensured, essential factors for the success of highly complex projects. As a result, the observed benefits included: projects completed in a reduced timeframe without compromising quality, accurate anticipation of conflicts between disciplines, and a significant reduction in costs throughout the project life cycle. Therefore, the application of an integrated project management concept, combined with BIM processes, fosters smarter and collaborative design & engineering process and could transforms the way projects are developed and executed. These methods not only improve the efficiency and quality of projects but also redefine how innovation is approached in the construction sector. The future of construction requires the integration of these practices to ensure more efficient and effective projects that meet the growing demands of the market.

Keywords: Digital Integration in Design & Engineering Projects. Collaboration. Building Information Modeling. BIM. Digital Transformation.

INTRODUÇÃO

A Transformação Digital tem potencial para impulsionar o setor da construção, trazendo novas metodologias e tecnologias que visam a otimização em todas as etapas do ciclo de vida do empreendimento. Entre essas inovações, o *Building Information Modeling* (BIM) e o *Integrated Project Delivery* (IPD) destacam-se por sua contribuição significativa para a colaboração contínua entre os *stakeholders*, a melhoria dos processos construtivos e, por fim, da gestão contratual dos projetos. A metodologia BIM produz, comunica e analisa modelos de construção que contém geometria e informação de cada ativo, permitindo controle e colaboração [1]. Já o IPD introduz uma abordagem contratual e operacional que reúne as partes envolvidas desde o início do projeto, promovendo a divisão de responsabilidades, riscos e recompensas e, principalmente, promovendo uma cultura de trabalho colaborativa, onde todos os membros da equipe trabalham juntos, com foco em uma comunicação transparente, desde o início até a conclusão do projeto.

A sinergia entre o BIM e o método de contratação IPD pode proporcionar uma integração eficiente das disciplinas envolvidas, otimizando a comunicação e a gestão da informação, a identificação de possíveis interferências e riscos e o sequenciamento das atividades para melhorar as estratégias de implantação de um projeto. Modelos BIM são essenciais para fornecer não apenas uma visualização detalhada do projeto, mas também para garantir que informações cruciais sejam facilmente acessíveis para tomada de decisões ao longo do ciclo de vida do empreendimento. Os estudos de caso apresentados neste artigo ilustram como alguns elementos dessas metodologias foram aplicadas, impactando diretamente a fase de projeto, planejamento e construção, contribuindo na redução de

retrabalhos, na melhora da qualidade da entrega e no cumprimento dos cronogramas desafiadores de empreendimentos complexos.

Assim, por meio da análise dos projetos desenvolvidos, e apresentados como *cases* nesse artigo, fica evidente os benefícios do uso de BIM e de elementos de gestão integrada, baseados na metodologia IPD, sugerindo que a forma de contratação IPD seja cada vez mais fomentada e testada. A criação de projetos de engenharia a partir de modelos tridimensionais inteligentes, que já trazem em sua concepção a ideia de modulação construtiva, integrando a logística de suprimentos e a obra, oferece uma base sólida e colaborativa em busca de transparência e comunicação na implantação e monitoramento em tempo real dos ativos. No decorrer deste trabalho, os resultados obtidos em cada caso demonstram o impacto positivo da Transformação Digital no setor de construção, consolidando os conceitos e princípios destas metodologias como pilares fundamentais para a inovação e o sucesso em projetos de grande porte.

BUILDING INFORMATION MODELING

O *Building Information Modeling*, ou Modelagem da Informação da Construção, pode ser definido como uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para desenvolver, comunicar e analisar modelos de construção [1]. Pode-se ainda definir BIM como a capacidade de "gerar e usar uma representação digital compartilhada de um ativo de um ambiente construído para facilitar os processos de projeto, construção e operação, estabelecendo uma base confiável para tomada de decisões" [2]. Nesse contexto, o BIM é parte fundamental do processo de Colaboração Contínua, pois apresenta-se como uma base de informações (geométricas e não geométricas) dos ativos de uma construção.

INTEGRATED PROJECT DELIVERY

O IPD pode ser definido como uma nova abordagem contratual, comportamental e organizacional para a entrega e desenvolvimento de projetos no setor da Construção Civil, por meio da otimização e adoção de práticas integradas e colaborativas [3]. Ela integra pessoas, sistemas, estruturas de negócios e práticas em um contrato único aliado a um processo que visa otimizar os resultados do projeto, aumentar o valor para o proprietário, reduzir desperdícios e maximizar a eficiência em todas as etapas de design, fabricação e construção. Embora o IPD tenha um grande potencial, a implementação desse método na indústria da construção civil enfrenta desafios significativos, devido à maturidade das empresas envolvidas na contratação, e ainda está em fases iniciais [4].

Os princípios do *Integrated Project Delivery* (IPD) podem ser classificados em Princípios Contratuais, Princípios Comportamentais e Catalisadores. Dentre os Princípios Comportamentais podem ser citados o respeito mútuo e confiança, alinhamento de metas nas fases iniciais do empreendimento, comunicação aberta, disposição para o trabalho colaborativo, transparência e inovação [4].

Em termos gerais, o IPD promove um método de trabalho mais colaborativo que busca integrar os diversos stakeholders de um projeto desde as fases iniciais, visando otimizar a eficiência e minimizar conflitos. Arquitetos, engenheiros, construtores e outros profissionais trabalham juntos, compartilhando informações, riscos e responsabilidades, em uma abordagem proativa que visa promover uma melhor coordenação entre as equipes, reduzindo retrabalhos, conflitos e desperdícios, além de fomentar a inovação e a busca por soluções mais eficazes e sustentáveis ao longo do ciclo de vida do projeto.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi a avaliação de resultados a partir de estudos de caso, sendo analisados projetos de grande porte e que tenham comprovada aplicação, parcial ou total, dos processos supracitados.

Um estudo de caso pode ser definido como uma investigação empírica que analisa e estuda um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto, por meio de uma lógica de planejamento, de coleta e de análise de dados. Pode incluir tanto abordagens quantitativas como qualitativas e ser um caso único ou múltiplos [5]. Logo, o estudo de caso é adotado como uma metodologia de pesquisa voltada à investigação de um objeto específico, definido pelo interesse em casos individuais. Ele permite a análise detalhada de um caso bem delimitado, considerando seu contexto em tempo e lugar, a fim de buscar informações específicas e circunstanciadas [6].

Assim, o artigo traz uma série de estudos de caso com utilização das metodologias BIM aliadas a práticas de gestão integrada baseadas na metodologia IPD, demonstrando ganhos significativos no que tange a gestão dos projetos, gestão da informação, controle de alterações, acompanhamento da detecção de conflitos e planejamento da construção obtidos durante o desenvolvimento dos projetos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

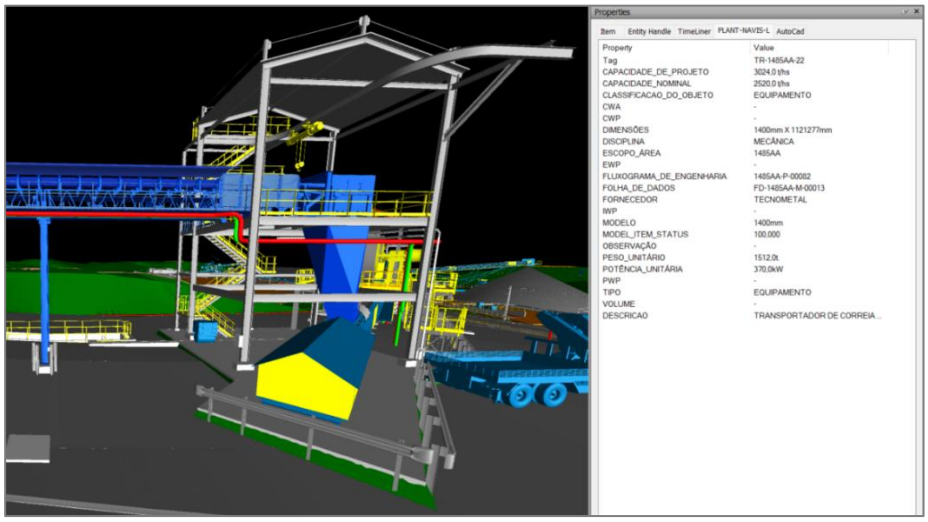
Em seguida, são apresentados três exemplos de projetos desenvolvidos, destacando as características e processos mencionados ao longo deste artigo. Por questões de confidencialidade, informações sensíveis sobre os clientes e os projetos não serão divulgadas.

CASO 1

O projeto se destacou pela sua complexidade multidisciplinar, abrangendo platôs industriais e administrativos. As disciplinas técnicas envolvidas foram mecânica, tubulação, elétrica, estruturas de concreto e metálica, arquitetura e infraestrutura, cobrindo terraplanagem, drenagem e sinalização horizontal. Inicialmente, o escopo do projeto não previa a adoção do BIM, sendo desenvolvido com entregas tradicionais em 2D, incluindo desenhos, memórias de cálculo e uma maquete eletrônica meramente visual.

No entanto, a exigência do cliente por um processo baseado em BIM redefiniu o escopo, convertendo o projeto em uma aplicação integral da metodologia. Essa transição trouxe benefícios claros, como o uso de modelos digitais para realizar medições mensais do progresso físico e financeiro, permitindo um controle mais detalhado e eficiente (Figura 1).

Figura 1. Modelo de Informação do Projeto com conjunto de atributos requisitados pelo cliente



A mudança de um projeto tradicional para um projeto em BIM reduziu significativamente retrabalhos, melhorou a detecção de conflitos (Figura 2) e proporcionou uma visualização mais precisa do andamento das obras, gerando maior confiança para o cliente ao longo de todas as fases do projeto.

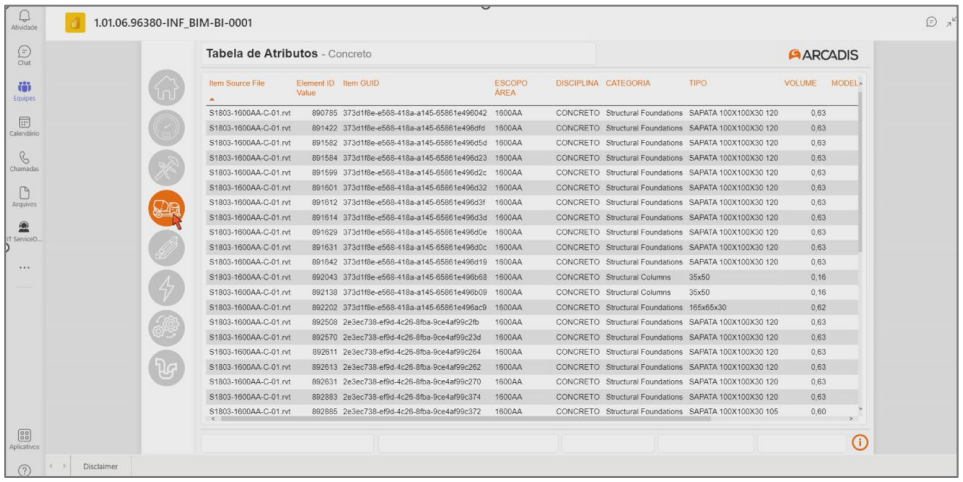
Figura 2. Detalhe de uma Interferência encontrada nos Modelos de Informação do Projeto



Como diferencial, o processo de verificação de interferências e/ou conflitos foi automatizado, o que não só reduziu o tempo necessário para identificar problemas como também minimizou erros humanos, possibilitando o rastreamento *par i passu* das pendências e/ou soluções. Além disso, a detecção antecipada de interferências evitou retrabalhos onerosos, garantindo uma coordenação mais eficiente entre as equipes e promovendo um fluxo de trabalho otimizado em todas as fases do projeto.

A equipe utilizou o ACC (*Autodesk Construction Cloud*) como Ambiente Comum de Dados (*Common Data Environment*, CDE), integrando as informações de modelagem do Revit, Civil 3D e Plant 3D; posteriormente consolidou-se as informações dos ativos em um *dashboard* que permitia uma visualização ampla dos dados gerados pelo projeto (Figura 3). Esse ambiente digital facilitou a comunicação entre as equipes e permitiu que os fluxos de trabalho fossem otimizados.

Figura 3. Dashboard de visualização das informações dos ativos (elementos) do modelo



Além disso, o Power BI foi empregado como uma ferramenta de monitoramento, verificação e análise das informações dos atributos inseridos nos ativos do modelo. Essa integração proporcionou uma visão detalhada do progresso do projeto, permitindo uma análise em tempo real dos dados e assegurando a precisão e a consistência das informações ao longo de todas as fases do projeto (Figura 4).

Figura 4. Acompanhamento do avanço dos modelos de informação do projeto



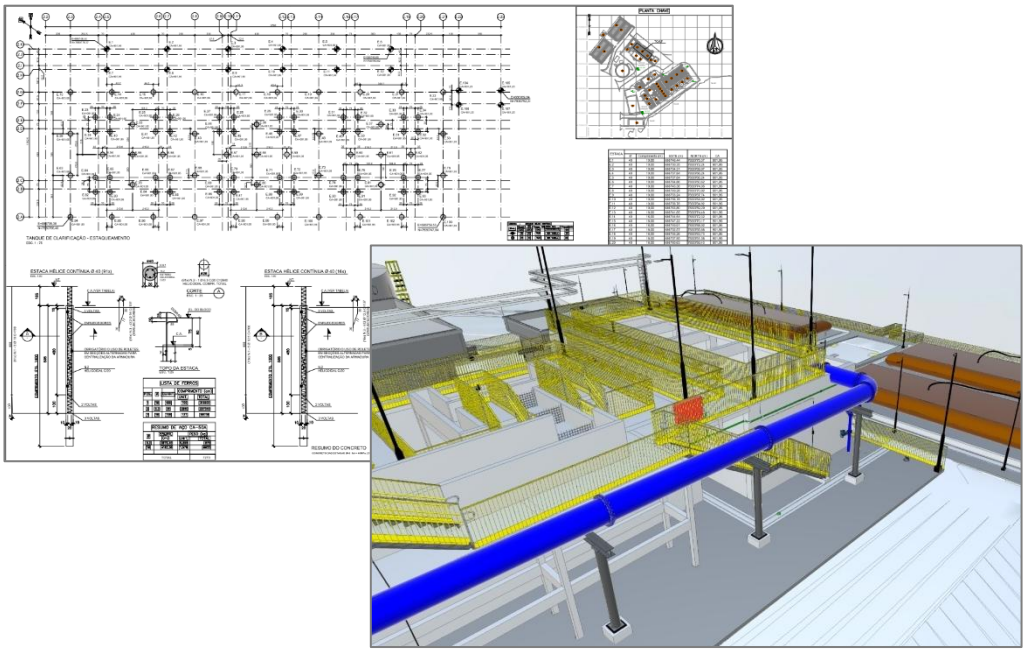
Essa experiência consolidou o BIM como uma base sólida para a execução eficiente de projetos futuros, aprimorando os processos e promovendo a maturidade digital da equipe.

CASO 2

O projeto de implantação do sistema de captação, adução, tratamento e distribuição de água foi desenvolvido para atender a uma demanda futura de abastecimento, utilizando águas superficiais como fonte. As principais características do projeto incluem um sistema de captação com capacidade de 600 L/s, uma adutora de 24 km de extensão e 800 mm de diâmetro, três elevatórias de água bruta, uma estação de tratamento de água (ETA) e uma unidade de tratamento de resíduos (UTR). Com uma equipe técnica composta por mais de 200 profissionais, o projeto segue com prazo de *startup* previsto para abril de 2026, sendo fundamental o cumprimento rigoroso das obrigações contratuais.

Desde o início, o projeto foi contratado para ser desenvolvido com a metodologia BIM (nível de desenvolvimento LOD 300), com extração de desenhos 2D (Figura 5).

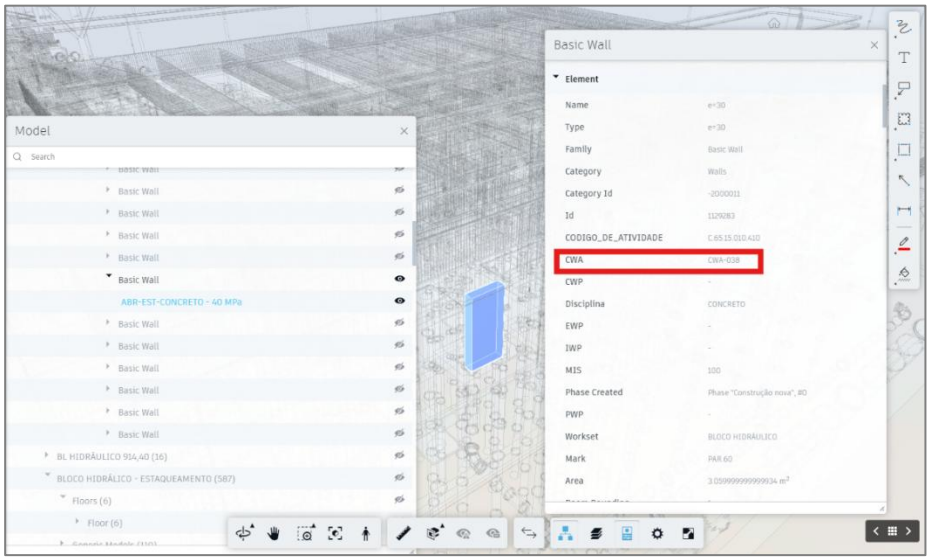
Figura 5. Modelo de Informação do Projeto com Documentação de Projeto emitida.



A implementação da metodologia BIM representou um grande avanço em relação a processos tradicionais, trazendo benefícios como maior precisão no planejamento e no controle das etapas do projeto. O BEP (*BIM Execution Plan*, ou em português Plano de Execução BIM) foi elaborado e apresentado ao cliente, garantindo que todas as partes envolvidas estivessem alinhadas com os conceitos essenciais do BIM, permitindo uma condução eficiente e colaborativa. Além disso, o BEP tratou de responder aos Requisitos de Informações estipulados pelo cliente e que delimitavam os Usos BIM para o projeto. A modelagem foi realizada nos softwares Autodesk Revit e Civil 3D, e todos os arquivos foram gerenciados via BIM 360 (versão anterior do Autodesk Construction Cloud, ACC), garantindo a compatibilização das disciplinas e o acompanhamento constante da evolução do projeto.

Além disso, integrou-se ao modelo de informação do projeto atributos de pacotes construtivos, trazendo os conceitos de construtibilidade e implantação da obra que foram utilizados para rastreamento e planejamento dos ativos nas fases subsequentes, consolidando o BIM como base para este tipo de aplicação (Figura 6).

Figura 6. Atributos relacionados a Metodologia AWP dentro do Modelo de Informação do Projeto



A plataforma BIM 360 (antecessor do ACC) foi utilizada tanto para a colaboração dos modelos federados quanto para a verificação e tramitação de documentos 2D. A compatibilização mensal das disciplinas e as reuniões de Design Review com o cliente facilitaram a visualização e compreensão do projeto. Esses processos trouxeram maturidade ao uso do BIM, resultando em uma maior eficiência e qualidade na execução, e estabelecendo um padrão que servirá de referência para os próximos projetos.

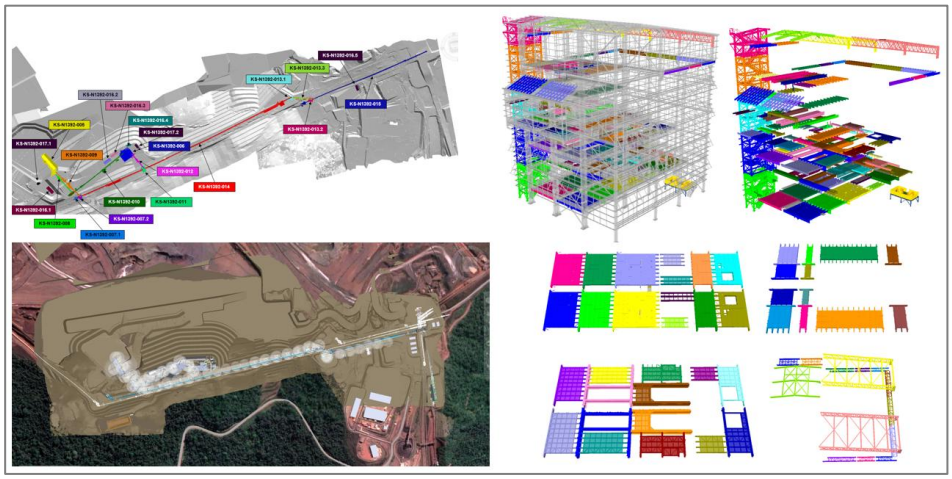
CASO 3

O projeto apresentou um diferencial ao utilizar conceitos de construtibilidade ainda em fase de projeto, integrando a metodologia BIM e alguns elementos e princípios de gestão colaborativa e integrada, baseados no modelo de contratação IPD. Dentre estes princípios comportamentais, estão: colaboração e confiança entre os diversos stakeholders, foco em resultado, transparência e comunicação aberta, incentivo à inovação e melhorias e resolução efetiva de problemas.

O modelo federado BIM do projeto foi modulado conforme sequência executiva de implantação da obra, seguindo o empacotamento acordado entre proprietário, construtora, projetista e fornecedores, possibilitando uma gestão integrada, transparente e colaborativa.

Como resultado, foi gerado um Cronograma Consolidado, que organizou de maneira estruturada cada fase da construção, garantindo a fluidez das operações e a execução eficiente das atividades. A utilização do “BIM 4D” desempenhou um papel essencial nesse processo, permitindo o planejamento detalhado da área de implantação, otimizando a gestão das informações constantes no modelo, a gestão de materiais e de toda a logística de suprimentos e a gestão e o diligenciamento da própria construção. (Figura 7).

Figura 7. Caminho da Construção, a Sequência Construtiva e o Empacotamento do Projeto



Durante o projeto, um dos grandes desafios enfrentados foi estabelecer um caminho de construção que minimizasse a interferência entre os diversos stakeholders, uma vez que a coexistência de múltiplas disciplinas poderia facilmente gerar conflitos e retrabalhos. A solução adotada, utilizando BIM e uma abordagem de gestão integrada e colaborativa, possibilitou a integração completa do modelo tridimensional com o planejamento, garantindo que todas as informações necessárias nas reuniões de integração entre os diversos stakeholders estivessem centralizadas e atualizadas em tempo real. Essa abordagem permitiu que o projeto se tornasse dinâmico, com a capacidade de receber novos inputs à medida que o trabalho avançava, refinando as fases subsequentes e melhorando a qualidade e a precisão das atividades de construção. Como resultado, antes do início efetivo da obra, foi possível consolidar a estratégia de construção junto aos stakeholders, facilitando a execução de uma obra mais coordenada e eficiente. A integração total do planejamento, do empacotamento de pacotes de trabalho e do controle de materiais proporcionou uma visão global do cronograma, reduzindo desvios e otimizando os recursos. Por fim, a automação nas alterações de planejamento e no plano de ataque da obra assegurou que os ajustes fossem implementados rapidamente, mantendo a fluidez e a eficiência do projeto em todas as etapas de execução.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção de processos BIM e de práticas de gestão integrada baseadas na metodologia IPD nos projetos apresentados reforçou o papel essencial da colaboração contínua para o sucesso em todas as etapas, desde o planejamento até a execução final. A abordagem integrada de gestão, incentivou a participação ativa de todos os *stakeholders*, promovendo um ambiente colaborativo e transparente, em prol da entrega final do projeto. Essa colaboração proativa entre as equipes multidisciplinares foi fundamental para garantir a agilidade e a precisão no desenvolvimento do projeto, minimizando retrabalhos e garantindo um fluxo de trabalho mais eficiente.

O uso do BIM estabeleceu uma base sólida para a gestão inteligente das informações. A criação de modelos tridimensionais detalhados, combinada a um Ambiente Comum de Dados (CDE) consistente facilitou a comunicação constante entre as equipes e assegurou que as informações fossem integradas e acessíveis em tempo real. O processo de definição de atributos específicos para o empacotamento da construção permitiu que as atividades fossem estruturadas de forma a otimizar o cronograma e a sequência construtiva, resultando em um Cronograma Masterplan consolidado e em maior eficiência nas fases subsequentes.

Concluímos, assim, que um pensamento focado na Transformação Digital desempenhou um papel fundamental, integrando ferramentas e metodologias que garantiram uma execução precisa e coordenada dos projetos. A colaboração contínua, a aplicação dos processos BIM, a gestão da informação constante nos modelos e a gestão integrada dos stakeholders e das decisões de projeto foram essenciais para a inovação na engenharia, permitindo o desenvolvimento de soluções mais inteligentes e eficientes. A união dos elementos e conceitos de cada metodologia, de forma total ou parcial, proporcionou um controle detalhado e adaptável sobre cada etapa do projeto, garantindo que as informações fossem compartilhadas em tempo real entre todas as partes envolvidas. Esses elementos, juntos, criaram uma engenharia mais inteligente, onde a tecnologia e a colaboração impulsionaram a eficiência, a redução de erros e a antecipação de problemas, consolidando a Transformação Digital como um fator crucial para o sucesso dos projetos.

REFERÊNCIAS

[1] R. SACKS, C. EASTMAN, L. GHANG E P. TEICHOLZ, Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores, Porto Alegre: Bookman, 2021.

[2] National Institute of Building Sciences, Terms & Definitions, National BIM Standard, 2024. Disponível em: https://www.nibs.org/nbims/v4/terms-definitions#bimdeliverable. Acessado em: outubro 2024.

[3] F. ELGHAISH, S. ABRISHAMI, R. HOSSEINI, S. ABU-SAMRA E M. GATERELL, Integrated project delivery with BIM: An automated EVM-based approach, Automation in Construction, vol. 106, Outubro 2019.

[4] E. A. D. MUIANGA E A. D. GRANJA, Estrutura Conceitual do Integrated Project Delivery (IPD): Princípios, Catalisadores e Proposições, Gestão & Tecnologia de Projetos, vol. v16, 2021.

[5] R. K. YIN, Estudo de Caso: planejamento e métodos, Porto Alegre: Bookman, 2001.

[6] M. M. VENTURA, O Estudo de Caso como Modalidade de Pesquisa, Rev. SOCERJ, pp. 383-386, Setembro 2007.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Comparação entre modelos BIM de registro obtidos por processo manual e automatizado

Comparison between record BIM Model obtained by manual and automated process

Cezar Lima Ferreira Barbalho | Sondotécnica | cezar.barbalho.ext@sondotecnica.com.br

Natália Nakamura Barros | Sondotécnica |natalia.barros.ext@sondotecnica.com.br| 0000-0001-8050-3481

Lucas Melchiori Pereira | USP | lucasmp@usp.br | 0000-0003-0350-0724

Antonio Ivo de Barros Mainardi Neto | Metrô | imainardi@metrosp.com.br

Stefania Dimitrov | Sondotécnica | stefania.dimitrov@sondotecnica.com.br | 0009-0003-6330-7499

DOI: 10.5281/zenodo.14477420

Resumo

A modelagem de informação da construção (*Building Information Modelling* - BIM) é um conjunto integrado e colaborativo de processos e ferramentas que permite criar, utilizar, atualizar e compartilhar modelos digitais de uma construção, de forma a servir aos envolvidos no ciclo de vida da construção. Assim, um modelo BIM pode atender a diferentes propósitos, entre os quais, o de registro de informações de edifícios existentes. As características de um Modelo BIM de Registro, tais como precisão ou discretização dos elementos da construção, dependem da finalidade da modelagem. No caso do desenvolvimento de modelos BIM de registro para infraestruturas existentes para realização de ampliações, de reformas ou de operações de rotina, é preciso uma aproximação maior com a realidade a fim de garantir o funcionamento adequado dos serviços que serão ofertados. Assim, a utilização de informações disponibilizadas nos documentos existentes, como pranchas de projetos anteriores ou registros de obra e de operação, não é suficiente. Estes registros muitas vezes apresentam informações que podem estar desatualizadas ou indicam apenas uma fração do campo de intervenção. Tal característica favorece a adoção de tecnologias de levantamento por nuvem de pontos, que são frequentemente utilizadas como fonte primária de informação para a reconstrução digital de uma situação. Todavia, junto com o crescimento do uso das nuvens, tornam-se mais evidentes as limitações de seu uso associadas a modelagem manual. Neste processo, a nuvem de pontos processada é importada em um software BIM e usada como uma base durante a produção manual do modelo, sem parâmetros definidos e propensos a erros. Uma alternativa ainda pouco explorada, mas que responde aos problemas de ineficiência e imprecisão atribuídos ao processo manual, é adotar métodos de modelagem automatizada. O presente trabalho apresenta os resultados de um processo manual e automatizado de modelagem BIM a partir de nuvem de pontos, desenvolvidos pela Sondotécnica Engenharia para digitalização de túneis ferroviários existentes na Linha 2 – Verde do Metrô. O método utilizado foi a pesquisa comparativa. Para tal, adotou-se o seguinte procedimento: (i) modelagem BIM a partir de nuvem de pontos pelo processo manual; (ii) modelagem BIM a partir de nuvem de pontos pelo processo automatizado; (iii) comparação entre os modelos BIM gerados pelo processo manual e automatizado. Os processos foram aplicados em um trecho de túnel ferroviário existente na Linha 2 – Verde do Metrô. No processo manual, a modelagem foi realizada a partir da anexação da nuvem de pontos ao software BIM onde foram realizados ajustes da nuvem e os modelos foram produzidos balizados visualmente pelos pontos importados. Já no processo automatizado, a modelagem BIM foi gerada a partir do uso de programação realizada tanto em

Python como em programação visual (Dynamo). Os resultados demonstraram que o modelo obtido por meio do processo automatizado apresentou um nível de precisão alto e controlado, menor ocorrência de erros e foi concluído em um tempo menor de modelagem, quando comparado ao modelo obtido pelo processo manual. A utilização de modelos BIM de registro obtidos com a aplicação de modelagem automatizada a partir de nuvem de pontos pode se tornar um meio ágil, preciso e econômico de melhorar a qualidade das informações da situação existente, apoiando profissionais que atuam no ciclo de vida de ativos da construção. Como estudos futuros, estão previstos a documentação e publicação do método automático utilizado e a aplicação em outros tipos de ativos, como edificações e obras de artes especiais.

Palavras-chave: Nuvem de pontos. Modelo de Registro. Python. Dynamo.

Abstract

Building Information Modeling (BIM) is an integrated and collaborative set of processes and tools that enables the creation, use, updating and sharing of digital models of a construction, to serve those involved in the construction life cycle. Therefore, a BIM model can serve different purposes, among them, the record of existing building information. The characteristics of a Record BIM Model, such as precision or discretization of construction elements, depend on the purpose of the modeling. In the case of the development of record BIM models for existing infrastructures for expansions, renovations, or routine operations, a closer approximation to reality is needed to ensure the proper functioning of the services that will be offered. Thus, the use of information available in existing documents, such as drawings from previous projects or construction and operation records, is not enough. These records often present information that may be outdated or only indicate a fraction of the field of intervention. This characteristic favors the adoption of point cloud survey technologies, which are frequently used as the primary source of information for the digital reconstruction of a situation. However, along with the growth in the use of clouds, the limitations of their use associated with manual modeling become more evident. In this process, the processed point cloud is imported into BIM software and used as a base during the manual production of the model, without defined precision parameters and even prone to errors. A still little explored alternative, but which responds to the problems of inefficiency and inaccuracy attributed to the manual process, is to adopt automated modeling methods. This work presents the results of a manual and automated BIM modeling process from point clouds, developed by Sondotécnica for the digitization of existing railway tunnels in Line 2 – Green of Metrô. The method used was comparative research. To this end, the following procedure was adopted: (i) BIM modeling from point clouds by the manual process; (ii) BIM modeling from point clouds by the automated process; (iii) comparison between the BIM models generated by the manual and automated process. The processes were applied to a section of existing railway tunnel in Line 2 – Green of Metrô. In the manual process, the modeling was performed from the attachment of the point cloud to the BIM software where cloud adjustments were made, and the models were visually guided by the imported points. In the automated process, BIM modeling was generated from the use of programming performed in both Python and visual programming (Dynamo). The results showed that the model obtained through the automated process presented a high and controlled level of accuracy, lower occurrence of errors, and was completed in a shorter modeling time, when compared to the model obtained by the manual process. The use of record BIM models obtained with the application of automated modeling from point clouds can become an agile, accurate, and economical way to improve the quality of information on the existing situation, supporting professionals working in the life cycle of construction assets. As future studies, the documentation and publication of the automatic method used and its application to other types of assets, such as buildings and special art works, are planned.

Keywords: Point Cloud. Record Model. Python. Dynamo.

INTRODUÇÃO

Na última década, a modelagem de informação da construção (*Building Information Modeling*: BIM) assumiu maior importância para a indústria da construção na medida que oferece respostas para o registro, comunicação e gestão integrada de informações de todo ciclo de vida do ativo. Embora o foco do desenvolvimento inicial tenha ocorrido principalmente em torno do projeto de novas construções, observa-se um crescente número de pesquisas e desenvolvimento de soluções avançadas de modelagem da situação existente para projetos de edifícios e de infraestrutura existentes.

Entre os temas emergentes, destaca-se o desenvolvimento de novas técnicas para produção de modelos BIM de registro [1]. São modelos que contém informações da situação existente de uma construção, necessárias para subsidiar projetos de reforma, ampliação e manutenção, a gestão de *facilities* e de manutenções específicas, análise de desempenho etc. A depender da aplicação, a acurácia e as condições de uso dos registros modelados da geometria e de demais características de construções existentes são críticas para o sucesso desses projetos.

Convencionalmente, a modelagem é feita a partir de medições em campo e de levantamento de informações disponíveis em documentos existentes, tais como mapas, plantas *as-built* e relatórios de campo. Embora este método ainda seja predominante, observam-se problemas de imprecisão e erro, decorrentes de um trabalho moroso, da limitação da atenção humana a múltiplos detalhes e da incompletude dos registros.

MODELAGEM A PARTIR DE NUVEM DE PONTOS

A disponibilidade de nuvens de pontos densas e precisas, obtidas com tecnologias de levantamento a laser, tem impulsionado a adoção de métodos de modelagem mais eficientes e precisos que os levantamentos convencionais. Atualmente, os procedimentos de modelagem de registro realizados a partir da nuvem de pontos mais comuns são manuais. Embora sejam mais precisos que aqueles baseados em levantamentos convencionais, ainda são demorados e trabalhosos, dependentes da atenção e habilidade humana. Além disso, a qualidade da modelagem é verificada visualmente, o que pode resultar em inconsistências decorrentes da falta de parâmetros de acurácia objetivos e explícitos.

Os métodos automatizados de modelagem de registro em desenvolvimento ou já disponíveis para uso profissional, oferecem, total ou parcialmente, uma resposta para esses problemas. A utilização de linguagens de programação como Python e de programação visual, como *Dynamo* ou *Grasshopper*, permite gerar modelos de forma mais rápida, precisa e controlada.

A modelagem automatizada, combinada com a tecnologia de nuvem de pontos, oferece um grande potencial para: aumentar a precisão dos Modelos BIM de Registro, reduzir a ocorrência de erros [2] e diminuir o tempo de modelagem. As pesquisas relacionadas ao *Scan-to-BIM*, processo que visa automatizar a criação de modelos BIM a partir de nuvens de pontos, têm explorado diferentes abordagens, como a decomposição celular, a avaliação de conexões e a gramática da forma, cada uma com suas vantagens e desvantagens [2].

A abordagem de decomposição celular divide o espaço 3D em células convexas utilizando raios semi-infinitos projetados a partir das faces das paredes. A gramática da forma utiliza regras pré-definidas para descrever a estrutura e as relações entre os componentes de um edifício. A partir de um conjunto de elementos detectados na nuvem de pontos, a gramática da forma pode ser aplicada para inferir a localização e a topologia das paredes [2]. E a abordagem de avaliação de conexões propõe um conjunto de conexões potenciais entre as paredes detectadas na nuvem de pontos [2,3].

As abordagens encontradas na literatura são aplicadas, em sua maioria, a elementos relacionados a edificações, como paredes. A infraestrutura possui maior complexidade e requer uma abordagem que garanta rapidez e precisão à modelagem. A escolha da abordagem mais adequada depende das características do projeto, da complexidade da geometria da construção e dos recursos computacionais disponíveis. Independentemente da abordagem escolhida, a modelagem automatizada apresenta-se como uma ferramenta valiosa para melhorar a qualidade das informações sobre a situação existente, fornecendo um suporte eficaz aos profissionais envolvidos no ciclo de vida das construções.

OBJETIVO

O presente trabalho apresenta um método automatizado de modelagem BIM a partir de nuvem de pontos para digitalização de túneis ferroviários existentes. Após, faz a comparação entre o método manual e o automático, com objetivo de identificar quais são os ganhos e limitações de cada caso.

MÉTODO

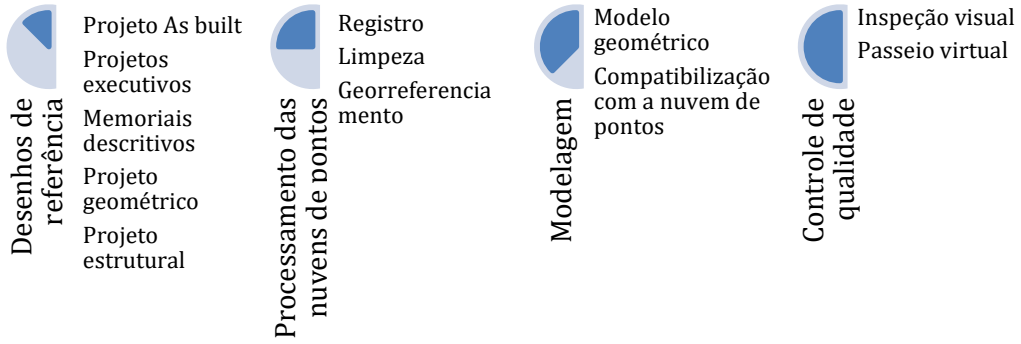
A pesquisa comparativa foi aplicada a esta pesquisa (Marconi; Lakatos, 2017), baseada em critérios qualitativos de avaliação do processo e do resultado obtido nas duas modalidades de modelagem de registro. Para tal, adotou-se o seguinte procedimento:

1. modelagem BIM a partir de nuvem de pontos pelo processo manual;
2. modelagem BIM a partir de nuvem de pontos pelo processo automatizado;
3. comparação entre os modelos BIM gerados pelo processo manual e automatizado. Os processos foram aplicados em um trecho de túnel ferroviário existente.

MÉTODO MANUAL DE MODELAGEM BIM A PARTIR DE NUVEM DE PONTOS

No processo manual, a modelagem foi realizada a partir da anexação da nuvem de pontos ao software BIM onde foram realizados ajustes da nuvem e os modelos foram produzidos balizados visualmente pelos pontos importados. O procedimento do método manual de modelagem BIM a partir de nuvem de pontos está apresentado na Figura 1 e detalhado a seguir.

Figura 1 - Procedimento do método manual de modelagem BIM a partir de nuvem de pontos



Fonte: os autores.

Em um primeiro momento, foi feita a coleta de desenhos de referência, ou seja, projeto *as built*, projetos executivos, memoriais descritivos, listas de pontos e todo o conteúdo relacionado ao projeto geométrico e estrutural. Após, foi feita a captura e processamento dos insumos, ou seja, o registro, limpeza e georreferenciamento das nuvens de pontos.

A modelagem BIM foi feita a partir dos desenhos de referência. Iniciou-se com a modelagem do projeto geométrico e, depois, realizou-se a compatibilização com a nuvem de pontos. O projeto *as* built e o projeto executivo foram as principais fontes de informações primárias. Conforme necessidade, foram feitos ajustes do modelo sobre a nuvem de pontos dentro do software de modelagem. O software de modelagem BIM utilizado foi o Autodesk Civil3D.

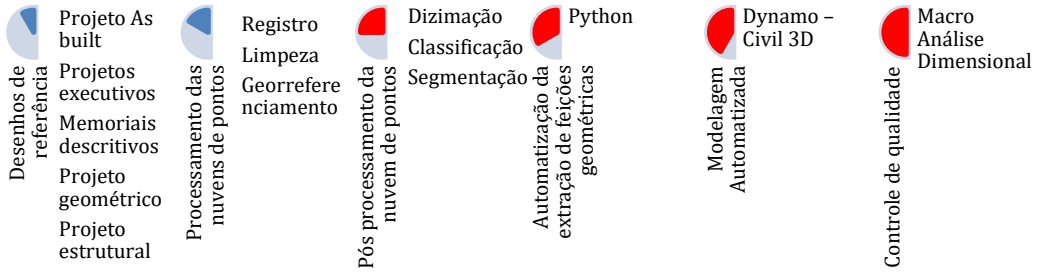
O controle de qualidade no processo tradicional foi feito por inspeção visual e um passeio virtual, e após aprovação, o modelo foi liberado para as áreas demandantes.

MÉTODO AUTOMATIZADO DE MODELAGEM BIM A PARTIR DE NUVEM DE PONTOS

Já no método automatizado, a modelagem BIM foi gerada a partir do uso de programação realizada tanto em Python como em programação visual (Dynamo).

No método automatizado, o fluxo de trabalho apresentado na Figura 1 passou por algumas alterações e incluiu os passos de pós processamento dos insumos, extração de feições geométricas relevantes utilizando automações, e a automação da rotina de modelagem e o controle de qualidade via macro análise dimensional. O procedimento do método automatizado de modelagem BIM a partir da nuvem de pontos é apresentado na Figura 2 e detalhado a seguir. Destacou-se na figura as etapas que sofreram alterações.

Figura 2 - Procedimento do método automatizado de modelagem BIM a partir de nuvem de pontos



Fonte: os autores.

Após o processamento, foi feita a etapa de pós processamento, composta pela dizimação, classificação e segmentação da nuvem de pontos. A dizimação consiste na redução do número de pontos sem perder características geométricas relevantes. Após, foi feita a classificação a partir dos seus elementos construtivos (*New Austrian Tunelling Method* - NATM, passarelas, via permanente e grid do túnel).

A automação aconteceu em dois momentos diferentes: para a extração das feições geométricas relevantes da nuvem de pontos, com uso do Python. E inserção dessas informações para modelagem BIM com uso do Dynamo do Civil 3D.

RESULTADOS

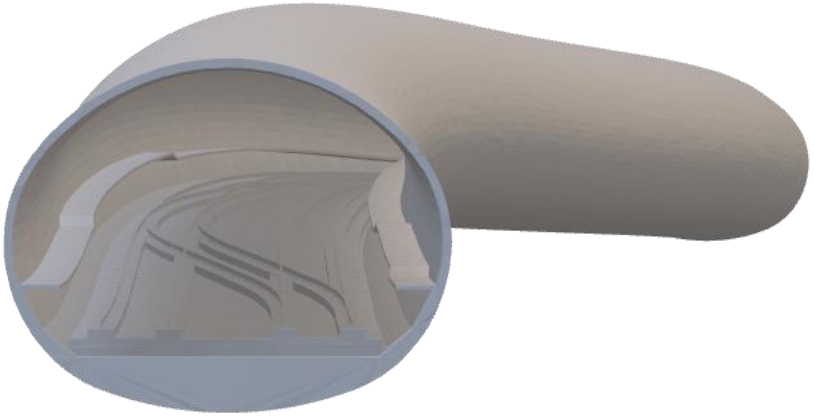
MODELO BIM A PARTIR DA NUVEM DE PONTOS PELO MÉTODO TRADICIONAL

O modelo BIM a partir da nuvem de pontos pelo método tradicional pode ser observado na Figura 3. Esta modelagem foi feita a partir do material de referência de engenharia. Os dados estão consolidados, classificados e os elementos corretamente categorizados.

O processo de controle de qualidade do modo tradicional, implica em um tour virtual, uma inspeção desse ativo virtual, no qual tiram medições quando são detectadas algumas anomalias. A inspeção visual foi feita no software Autodesk Navisworks, a partir de um alinhamento do túnel e sobreposição da nuvem de pontos com a seção de projeto.

A modelagem deve ser entregue com uma divergência de 100 mm em relação à nuvem de pontos, entretanto, a partir da inspeção visual, verificou-se que, em alguns casos, ela é maior. Além disso, houve algumas divergências com relação à modelagem da passarela de emergência, que ficou mais comprida no modelo do que na nuvem de pontos. E verificou-se também algumas diferenças com relação às cotas, em alguns pontos da passarela de emergência, ela ficou mais alta e em outros, mais baixa.

Figura 3 - Modelo BIM a partir da nuvem de pontos pelo método tradicional

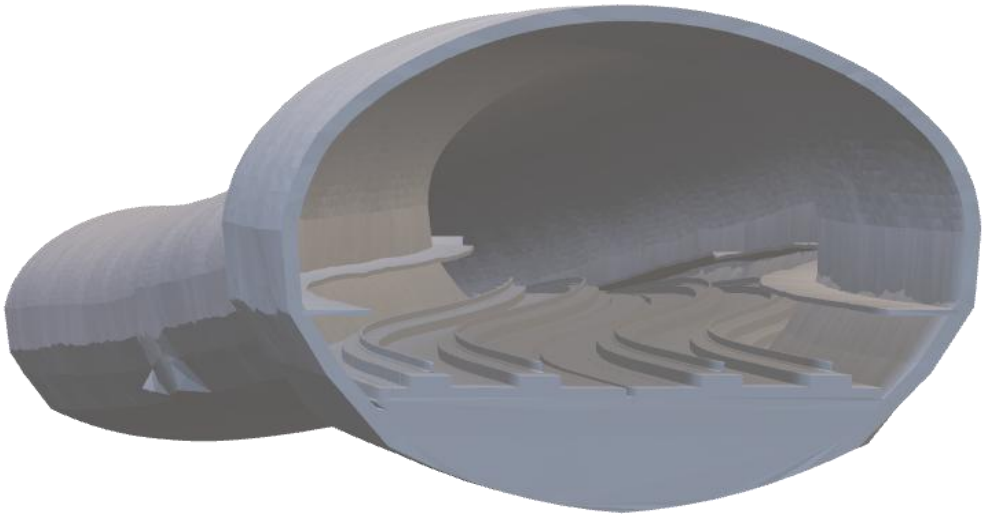


Fonte: os autores.

MODELO BIM A PARTIR DE NUVEM DE PONTOS PELO MÉTODO AUTOMATIZADO

O modelo BIM a partir da nuvem de pontos pelo método automatizado pode ser observado na Figura 4. Nesta modelagem, é possível observar a representação das deflexões, das cambotas do túnel, e um maior detalhamento da geometria das passarelas de emergência e da via permanente.

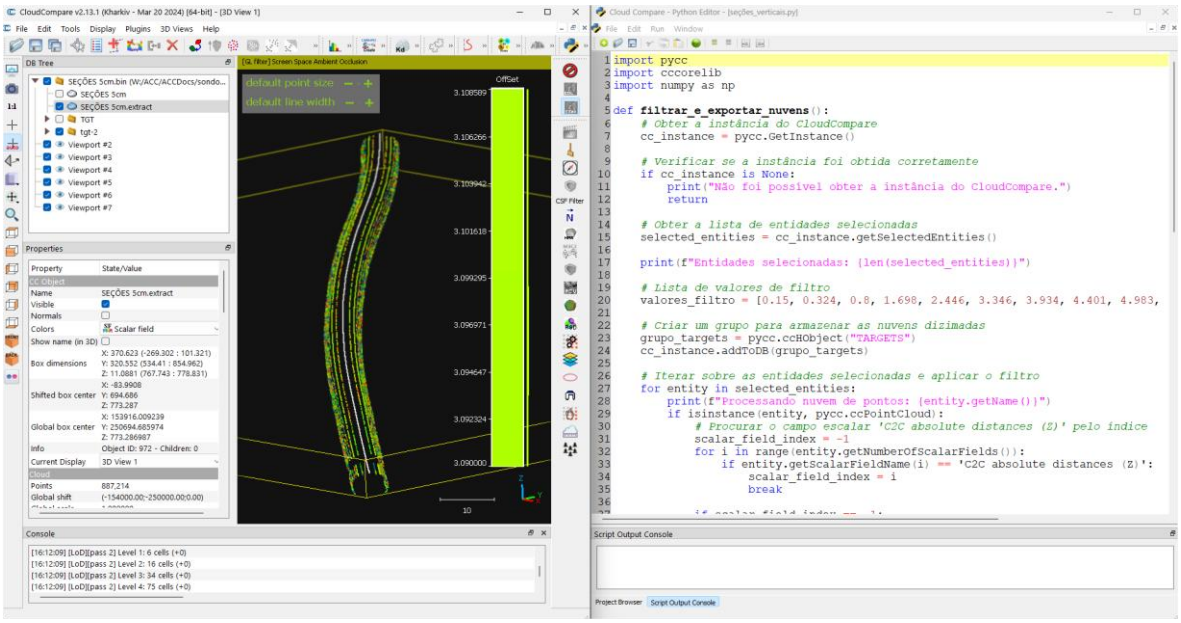
Figura 4 - Modelo BIM a partir de nuvem de pontos pelo método automatizado



Fonte: os autores.

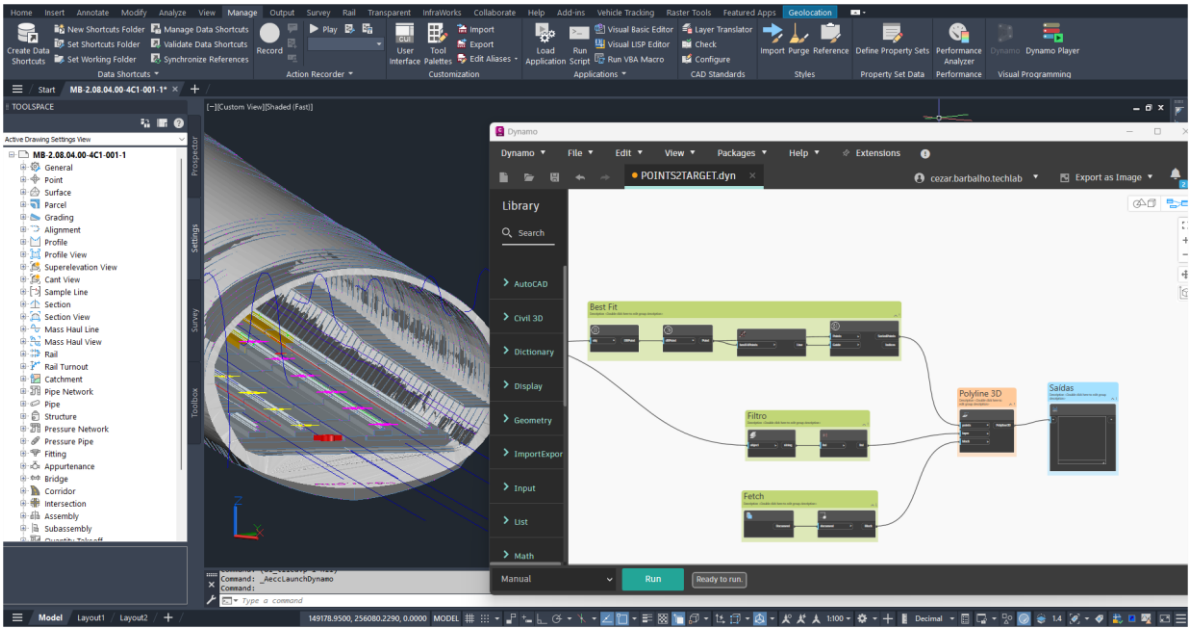
As automações da extração de informações a partir da nuvem de pontos e inserção de informações são apresentadas na Figura 5 e Figura 6, respectivamente.

Figura 5 - Automação da extração de informações da nuvem de pontos com uso de Python



Fonte: os autores.

Figura 6 - Automação da inserção de informações para modelagem com uso de Dynamo



Fonte: os autores.

Após os ajustes no fluxo de trabalho e aplicação das automações, foi possível alcançar até 50 mm de divergência entre a nuvem pontos e o modelo BIM. No caso dos trilhos, a precisão alcançada foi ainda maior.

COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO MANUAL E AUTOMATIZADO

A análise da Figura 1 e Figura 2 demonstrou que houve alteração no processo utilizado no método manual e o automatizado. No método automatizado foram incluídas duas novas etapas: pós

processamento da nuvem de pontos e automatização da extração de feições geométricas. Além disso, a modelagem e o controle de qualidade sofreram alterações no método automatizado.

Quanto ao modelo BIM resultante dos dois métodos, verificou-se um maior impacto na precisão alcançada. O modelo BIM resultante do método tradicional demonstrou uma divergência maior do que 100 mm entre a nuvem de pontos e o modelo BIM. No método automatizado, esta divergência foi menor do que 50 mm.

Os resultados, portanto, demonstraram que o modelo obtido por meio do processo automatizado apresentou um nível de precisão alto e controlado, menor ocorrência de erros e foi concluído em um tempo menor de modelagem, quando comparado ao modelo obtido pelo processo manual.

CONCLUSÃO

Um estudo comparativo realizado pela Sondotécnica Engenharia para a digitalização de túneis ferroviários demonstrou as vantagens da modelagem automatizada. Os resultados indicaram que o modelo gerado automaticamente apresentou: alto nível de precisão, menor ocorrência de erros e tempo de modelagem significativamente reduzido.

Esses resultados corroboram as conclusões de outros estudos, como o de Thomson, que também destaca a eficiência e a precisão da modelagem automatizada a partir de nuvens de pontos [4].

O uso de modelos BIM de registro obtidos com a aplicação de modelagem automatizada a partir de nuvem de pontos pode se tornar um meio ágil, preciso e econômico de melhorar a qualidade das informações da situação existente, apoiando profissionais que atuam no ciclo de vida de ativos da construção. Como estudos futuros, estão previstos a documentação e publicação do método automático utilizado e a aplicação em outros tipos de ativos, como edificações e obras de artes especiais.

REFERÊNCIAS

[1] BIMEINITIATIVE. Record Model. Disponível em: <https://bimdictionary.com/en/record-model/1>. Acesso em: 12 nov. 2024.

[2] BASSIER, M.; VERGAUWEN, M. Topology Reconstruction of BIM Wall Objects from Point Cloud Data. Remote Sensing, v. 12, n. 11, p. 1800, jan. 2020.

[3] BASSIER, M.; VERGAUWEN, M. SEMI-AUTOMATED TOPOLOGY ADJUSTMENT OF PARTIAL WALL GEOMETRY. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. XLII-5-W3, p. 13–19, 5 dez. 2019.

[4] THOMSON, C. P. H. From Point Cloud to Building Information Model: Capturing and Processing Survey Data Towards Automation for High Quality 3D Models to Aid a BIM Process. Doctoral—[s.l.] UCL (University College London), 28 maio 2016.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Contribuições do BIM na otimização da montagem de edifícios em pré-fabricados de concreto com a utilização de guindastes de torre e móveis em canteiro de obras

BIM contributions in the optimization of assembly and prefabricated concrete buildings with the use of tower cranes and mobile cranes on construction sites

Luiz V. de A. Junior | Universidade Federal de São Carlos | lvajunior@estudante.ufscar.br | 0000-0003-3208-087X
Sheyla Mara Baptista Serra | Universidade Federal de São Carlos | sheylabs@usfcar.br | 0000-0002-9508-976X
Marcelo de Araujo Ferreira | Universidade Federal de São Carlos | marcelof@ufscar.br | 0000-0001-5175-2171

DOI: 10.5281/zenodo.14477496

Resumo

A contribuição do *Building Information Modelling* (BIM) tem importância nos processos de otimização de montagem de edifícios em pré-fabricados de concreto com a utilização de guindastes de torre e móveis em canteiro de obras. Relata-se um breve contexto das pesquisas nacionais e internacionais do BIM relacionadas ao tema em estudo. Guindastes são amplamente utilizados na construção de edifícios de pré-fabricados de concreto, para melhorar a eficiência da construção e otimizar a montagem no local, considerando restrições de segurança, tempo e custo. O objetivo é pesquisar e analisar com a contribuição do BIM, os processos de otimização com algoritmos computacionais e métodos matemáticos, a melhor seleção e localização, o tipo e modelo de guindastes para atender a montagem em edifícios pré-fabricados de concreto, por intermédio de um estudo de caso. O estudo de caso apresenta a intenção de se compreender o contexto da solução observada, bem como realizar uma investigação para se verificar as características presentes das contribuições do BIM, nos processos de otimização de montagem de edifícios em pré-fabricados de concreto, tais como: cronograma de montagem com guindastes na modelagem dimensão de tempo e estimativa de custos; plano de içamento para os componentes pré-fabricados de concreto; seleção do tipo e modelo de guindastes; visualização e simulação de operações com os guindastes. As tecnologias de visualização e simulação na modelagem BIM na dimensão de tempo são importantes para desenvolver a operação de guindastes e o planejamento do local, pois permitem a possibilidade de determinar a melhor estratégia de execução da montagem. No estudo de seleção do tipo e modelo dos guindastes, devem ser analisados os fatores de altura do edifício; dimensões das cargas; carga máxima a serem içadas; raio máximo quando a carga é colocada; profundidade de colocação; topografia do terreno; estabilidade do solo; e acessibilidade do local. O planejamento adequado de içamento e o gerenciamento da operação dos guindastes no local são essenciais para melhorar a produtividade, a segurança dos projetos. A modelagem BIM na dimensão de tempo deve considerar análises dinâmicas mais detalhadas do canteiro de obras, como por exemplo, espaços ocupados e congestionamento do local, interação entre máquinas e outros recursos temporários**,** posicionamento dos guindastes, layout do canteiro de obras, acessos internos e

externos, e as instalações provisórias**.** Portanto, o BIM pode contribuir na seleção e localização de guindastes, na tomada de decisões na montagem de edifícios pré-fabricados de concreto em canteiro de obras.

Palavras-chave: *Building Information Modelling*. Algoritmos de otimização. Edifícios pré-fabricados. Guindastes de torre e móveis. Canteiro de obras

Abstract

The objective is to research and analyze, with the contribution of BIM, the optimization processes with computational algorithms and mathematical methods, the best selection and location, type and model of cranes to meet the assembly of prefabricated concrete buildings, through a case study. The case study research method aims to understand the context of the observed solution, as well as describe the facts, to provide knowledge about the phenomenon under study. BIM contributes importance to the information base for design, manufacturing, transportation and assembly, with the detailed definition of prefabricated elements. BIM shares information with all disciplines involved in the construction project of the building, in the planning of selection, location and visualization of tower and mobile cranes on the construction site. Therefore, the integration of optimization algorithms with the BIM environment is one of the most important contributions of this research.

Keywords: Building Information Modeling. Optimization algorithms. Prefabricated buildings. Tower and mobile cranes. Construction site

INTRODUÇÃO

O *Building Information Modelling* (BIM) tem importância na Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), na contribuição dos processos de otimização de montagem de edifícios em pré-fabricados de concreto com a utilização de guindastes de torre e móveis em canteiro de obras, com auxílio da inteligência artificial (IA).

A IA pode ser definida como uma simulação computacional da capacidade humana de raciocinar e resolver problema, por intermédio de algoritmos [1]. O algoritmo é todo e qualquer procedimento capaz de solucionar um dado problema, por meio de passos previamente elaborados, e otimizar significa aperfeiçoar algum processo [2].

Guindastes são amplamente utilizados na construção de edifícios de pré-fabricados de concreto, para melhorar a eficiência da construção e otimizar a montagem no local, considerando restrições de segurança, tempo e custo, em canteiro de obras. Os guindastes podem ser classificados como guindastes de torre e móveis, sendo sua definição considerada em função das necessidades do projeto do edifício. Portanto, são os dois principais tipos de guindaste usados em canteiros de obras.

Guindastes de torre são utilizados na construção de edifícios altos, sendo localizados em um local específico pré-definido, enquanto os guindastes móveis são usados para dar suporte a muitas atividades em vários locais, com mobilidade e flexibilidade no processo de elevação, sendo os principais equipamentos utilizados na montagem de edifícios pré-fabricados de concreto.

Deve-se elaborar o Plano de Rigging, ou seja, um projeto de montagem dos elementos pré-fabricados, considerando a planta de locação do local de montagem, e o correto posicionamento do guindaste durante a operação de montagem [3]. Os principais elementos pré-fabricados, tais como pilares, vigas, lajes, painéis de fechamentos, escadas são provenientes de fábricas, sendo posteriormente transportados para o local de montagem em canteiro de obras.

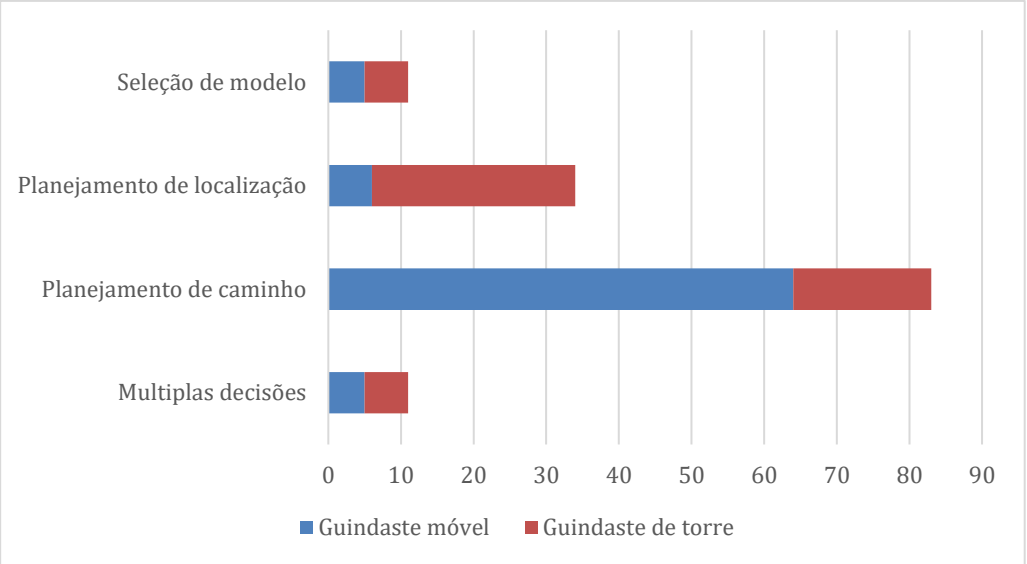
O objetivo é pesquisar e analisar com a contribuição do BIM, os processos de otimização com algoritmos computacionais e métodos matemáticos, a melhor seleção e localização, o tipo e modelo, içamentos e elevação de guindastes para atender a montagem em edifícios pré-fabricados de concreto, com a utilização de guindastes por intermédio de um estudo de caso.

BREVE VISÃO GERAL DAS PESQUISAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS NA LITERATURA

Com relação às teses e dissertações nacionais, pesquisadas no site do catálogo de teses do Capes, não foram encontrados assuntos na consulta referente à “montagem BIM em pré-fabricados” e em “otimização de guindastes em pré-fabricados” referente ao tema em estudo. Portanto, apresentam-se vários assuntos relacionados à obra, considerando planejamento, gestão, controle de construção, visualização e simulação, ou seja, na modelagem BIM na dimensão de tempo no canteiro de obras.

A visão geral na literatura sobre tipos de guindastes e decisões de planejamento de elevação e localização é apresentada na Figura 1.

Figura 1: Distribuição dos tipos de guindastes e decisões de planejamento de elevação e localização na literatura.



Fonte: HU *et al.*, 2021

Entre as publicações internacionais que abordam uma seleção do modelo de guindaste, os focos nos dois tipos de guindastes são semelhantes, ou seja, de torre ou móveis. A maioria dos estudos de planejamento de trajetória se concentrou em guindastes móveis, na abordagem de conflitos espaciais e natureza de mobilidade, e na maioria dos estudos de planejamento de localização se concentrou em guindastes de torre, visando a encontrar localizações ideais que satisfaçam os requisitos de produtividade e restrições de custo.

O planejamento de guindastes na montagem de edifícios em pré-fabricados tem importância nas atividades de sequenciamento, programação, orçamento, operação, e segurança na indústria da AECO, na seleção de guindastes; localizações ideais de guindastes; planejamento do caminho do guindaste; uso e coordenação de vários guindastes; simulação e visualização de operações de guindastes.

Algumas aplicações da modelagem BIM relacionadas a guindastes, foram utilizadas em questões de segurança, questões de programação de guindastes e questões de localização de guindastes.

OTIMIZAÇÃO COM ALGORITMOS COMPUTACIONAIS E MÉTODOS MATEMÁTICOS

O BIM no desenvolvimento de projetos de construção vem utilizando métodos de otimização, segundo os autores LIU; MENG; TAM [4]. Algoritmos de otimização são usados para encontrar as soluções ótimas ou aproximadamente ótimas dentro de restrições de modelos matemáticos para atender a objetivos específicos, como minimização de custos, maximização da eficiência ou otimização da distribuição da carga de trabalho.

A utilização de técnicas de otimização facilita a tomada de decisão em problemas complexos nos diferentes segmentos de projetos de engenharia [5]. Nesses processos, utiliza-se a pesquisa operacional que consiste na utilização de métodos matemáticos, estatísticos e algoritmos computacionais para ajudar na tomada de decisões [6].

A modelagem matemática pode ser definida como a arte de transformar problemas da realidade em problemas matemáticos e resolvê-los interpretando suas soluções na linguagem do mundo real [7]. Métodos matemáticos são aplicados para determinar as posições ideais dos guindastes de torre. Portanto, utiliza-se vários métodos de otimização, variando de métodos de solução exata como branch and bound [8] a algoritmos metaheurísticos como algoritmos genéticos [9], otimização de enxame de partículas [10], etc.

A abordagem de um problema de otimização envolve a consideração do modelo de análise do sistema, o algoritmo e o modelo de otimização [6]. A otimização de um projeto envolve: a seleção de um conjunto de variáveis para descrever as alternativas de projeto; a seleção de um ou mais objetivos expressos em termos das variáveis de projetos, para minimizar ou maximizar; e a determinação de um conjunto de valores para as variáveis de projeto, que minimizam ou maximizam o objetivo, enquanto satisfazem todas as restrições [11].

SELEÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE GUINDASTES

A seleção e a localização de guindastes de torre são conhecidas por ser uma parte crucial na configuração de um canteiro de obras [12]. São divididas em duas fases: a seleção do tipo e a seleção do modelo. Os fatores que afetam as seleções do tipo de guindaste são: tipos de uso; duração no local; altura da construção; amplitude do local ou pegada da construção; topografia do terreno; estabilidade do solo; proporção da construção; realocação do guindaste no local; e acessibilidade do local [13]. Os fatores que afetam as seleções de modelos de guindastes são: altura do edifício; dimensões da carga; a carga máxima a ser içada; o raio máximo no qual uma carga deve ser colocada; e a profundidade da colocação [14].

Portanto, os guindastes são selecionados seguindo as três etapas: verificação da capacidade do guindaste; alcance do guindaste com base na localização ideal selecionada; e folgas da lança e do contrapeso. Deve ser avaliado também o local de manuseio da maioria dos materiais pesados e volumosos, a partir das implicações dos locais do guindaste, num local conveniente e seguro. Seus braços devem alcançar e cobrir qualquer parte dos edifícios em um canteiro de obras para levantar e soltar materiais de construção sobre vários pontos de oferta e demanda [15].

A localização do guindaste é um problema típico de layout de instalação ou local de construção, sendo visto como um problema de otimização complexo, sendo resolvido por duas técnicas distintas: algoritmos e heurísticas, sendo que um algoritmo fornece as instruções diretamente, enquanto uma heurística diz como descobrir as instruções. As avaliações quantitativas no planejamento de localização e decisões de planejamento de caminho são melhoradas pela utilização de modelos BIM [16]. A abordagem mais usada para o planejamento da localização do guindaste é a abordagem de simulação [17].

VISUALIZAÇÃO E SIMULAÇÃO NA MODELAGEM BIM

Os aplicativos BIM baseados em visualização foram projetados para demonstrar os resultados do planejamento automatizado e identificar erros omitidos, bem como ajustar os locais otimizados [18]. A simulação é uma abordagem aplicada para auxiliar na decisão dos locais exatos para os guindastes. Possui importância para a localização do caminho do guindaste e para a detecção de colisões.

As tecnologias de visualização e simulação na modelagem BIM na dimensão de tempo são importantes para desenvolver a operação de guindastes e o planejamento do local, pois permitem a possibilidade de determinar a melhor estratégia de execução da montagem.

IÇAMENTO E ELEVAÇÃO DE GUINDASTES

Um processo típico de planejamento de elevação começa com a determinação do tipo, modelo e quantidade do guindaste [19]. A partir das especificações do equipamento são definidos os locais para o guindaste ser instalado de modo que a capacidade e o alcance do equipamento satisfaçam todos os trabalhos de elevação enquanto minimizam os conflitos espaciais com outras atividades no local [20].

A modelagem BIM fornece a quantidade de componentes levantados para algoritmos de otimização de localização, incluindo os locais de pontos de oferta e demanda, informações de geometria do local [18] e cronograma de construção para algoritmos de planejamento de caminho.

METODOLOGIA

Adotou-se o método de pesquisa de estudo de caso, pois a intenção foi compreender o contexto da solução observada, bem como descrever os fatos, para proporcionar conhecimento acerca do fenômeno em estudo [21]. Pelo estudo de caso é possível realizar uma investigação para se verificar as características do processo escolhido.

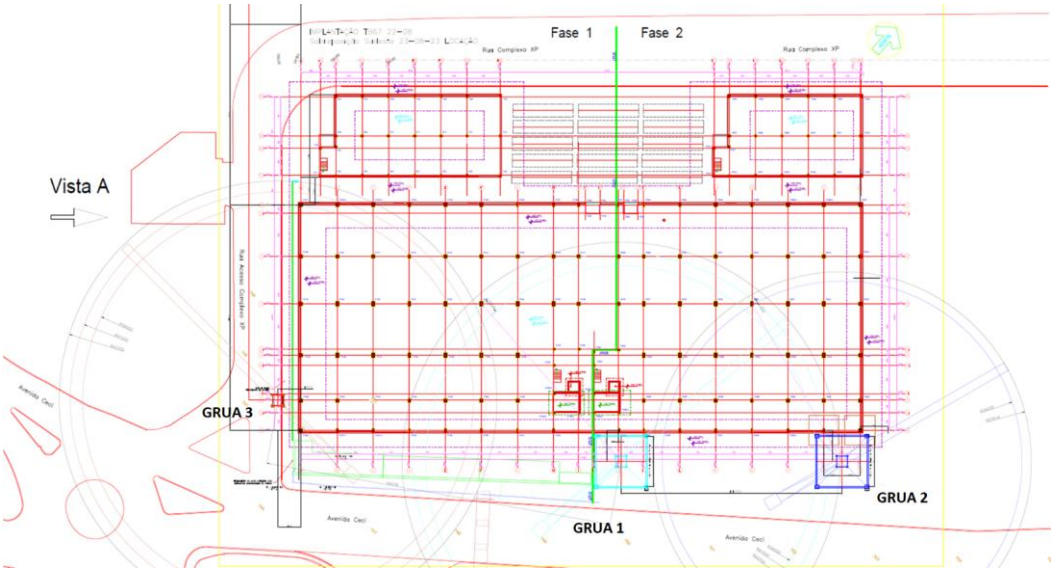
ESTUDO DE CASO

O estudo de caso apresentado é de uma edificação comercial em pré-fabricados de concreto situada no estado de São Paulo, com uma área construída estimada de 50.000 m², com nove pavimentos de área estimada de 6.000 m² cada, compreendida por pilares, vigas, lajes alveolares protendidas, escadas, e paredes duplas de concreto.

As informações e dados técnicos, foram fornecidas pelo Engenheiro responsável pela edificação na Empresa A que acompanhou o processo de montagem dos elementos pré-fabricados de concreto no canteiro de obras.

No andar tipo, por questões de projeto foi dimensionada uma junta de dilatação separando o andar em duas fases, sendo Fase 1 e 2. A sequência de montagem dos elementos pré-fabricados foi definida pelo planejamento de montagem, que seriam realizadas por pavimento, conforme a Figura 2, onde podem ser verificados os equipamentos posicionados e denominados de Grua 1, na parte central; Grua 2, na lateral direita; e Grua 3, na lateral esquerda, posicionadas na frente do edifício.

Figura 2: Seleção e localização dos guindastes no canteiro de obras



Fonte: EMPRESA A, 2024

A seleção e localização dos guindastes de torre e móveis neste canteiro de obras foram dimensionadas com auxílio da modelagem BIM, no contexto de se compartilhar os processos e as informações com todas as disciplinas envolvidas nos projetos da construção da edificação. Os estudos foram realizados considerando as áreas de abrangência por guindaste, considerando o peso, quantidades e comprimentos dos elementos pré-fabricados, conforme informações geradas pela biblioteca BIM dos elementos pré-fabricados necessários para montagem da edificação, definindo no planejamento setores para cada guindaste, com sua respectiva sequência de montagem.

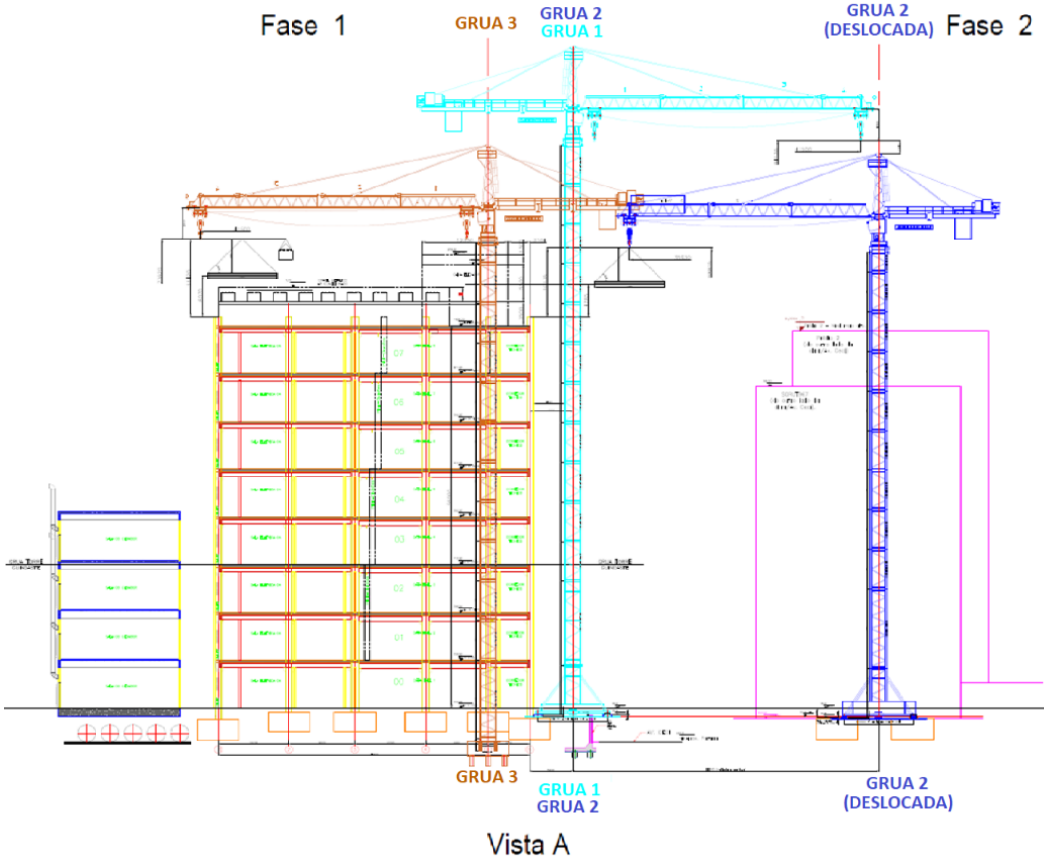
Em função do prazo estipulado para conclusão da edificação e em função da quantidade e dimensões dos elementos pré-fabricados, para atender determinado setor por guindaste, define-se a quantidade necessária de guindastes.

Os elementos pré-fabricados foram transportados por carretas da fábrica até o local de montagem, obedecendo a uma sequência para a montagem, estipulada pelo planejamento de fabricação, transporte e montagem. No local deste canteiro de obras, não tinha previsão de local para armazenagem dos elementos pré-fabricados, sendo necessário a descarga ser realizada diretamente para o local de montagem na edificação.

Para definição da capacidade dos guindastes foi elaborado o Plano de *Rigging,* em função das características do elemento pré-fabricado de maior peso. Neste caso, foi considerado um pilar pré-fabricado de 18 ton., tanto para o guindaste de torre (Grua 1, 2 e 3) como para o guindaste móvel (Guindaste 1). Foram selecionados três guindastes de torre (Grua 1, 2, e 3) e um guindaste móvel de 120 ton. (Guindaste 1), sendo substituído posteriormente por um guindaste móvel de 500 ton. (Guindaste 2).

Pelo planejamento de montagem foi definido que até o 3° pavimento a montagem seria realizada no interior da obra, com o posicionamento dos guindastes de torre e um guindaste móvel de 120 ton. A partir do 4° pavimento, os guindastes seriam posicionados fora da obra, considerando nesta etapa um guindaste móvel de 500 ton., e os guindastes de torre existentes. As vistas dos guindastes de torre foram definidas externamente ao edifício em construção, conforme a Figura 3**.**

Figura 3: Vista dos guindastes no canteiro de obras



Fonte: EMPRESA A, 2024

Para o planejamento, controle e monitoramento de montagem, foram realizadas visualizações da sequência de montagem nos setores definidos, com a modelagem BIM simulando a montagem dos elementos pré-fabricados no canteiro de obras.

RESULTADOS

Com a análise do estudo de caso, apresentam-se as principais contribuições do BIM nos processos de otimização de montagem de edifícios em pré-fabricados de concreto quanto à seleção e localização de guindastes de torre e móveis em canteiro de obras:

- O BIM fornece informações para diferentes etapas do processo construtivo como: projeto, fabricação, transporte e montagem, a partir da definição detalhada dos elementos pré-fabricados.
- A modelagem BIM compartilha as informações com todas as disciplinas envolvidas no projeto de construção da edificação, no planejamento de seleção, localização e visualização dos guindastes de torre e móveis no canteiro de obras.
- A modelagem BIM na dimensão de tempo considera as análises dinâmicas mais detalhadas do canteiro de obras, como por exemplo, espaços ocupados e congestionamento do local, interação entre máquinas e outros recursos temporários, posicionamento dos guindastes, layout do canteiro de obras, acessos internos e externos, e as instalações provisórias.

Como apresentado, a modelagem BIM possibilita o planejamento de layout do canteiro de obra e a gestão de montagem, atendendo toda a cadeia produtiva, considerando as especificidades dos elementos pré-fabricados em canteiro de obras.

DISCUSSÃO

No estudo de caso apresentado não foram considerados estudos de otimização de montagem com algoritmos e modelos matemáticos, mas sim métodos tradicionais práticos, utilizados no mercado pelas empresas de pré-fabricados.

Deve-se pesquisar maneiras mais eficazes de realizar a seleção e o projeto de guindastes para estabelecer as melhores práticas dentro da indústria da AECO, bem como otimizar as configurações de guindastes de elevação para aprimorar o processo de planejamento e a eficiência de custos.

CONCLUSÃO

Deve-se destacar que a integração de algoritmos de otimização com o ambiente BIM é uma das contribuições mais importantes desta pesquisa.

O BIM pode contribuir neste estudo, no processamento de planejamento, da gestão, controle da construção e/ou na modelagem BIM na dimensão de tempo, com a utilização de algoritmos de otimização e modelos matemáticos, na definição da melhor seleção e localização, no içamento e elevação de guindastes, na visualização e simulação, na tomada de decisões.

O BIM está associado com as tecnologias de IA, pela otimização da inteligência computacional e pela transformação digital, nos processos de digitalização.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio à pós-graduação e à Empresa A participante da pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] RICH, E., KNIGHT, K. Inteligência Artificial. 2ª Edição. São Paulo: Makron Books do Brasil: McGraw Hill, 1994.

[2] ASHLOCK, D. Evolutionary Computation for Modeling and Optimization. New York: Sprinkler, 2006. 572p.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO (ABCIC). Manual de Montagem das Estruturas Pré-moldadas de Concreto. São Paulo, 2019.

[4] LIU, S.; MENG, X.; TAM, C. Building Information Modeling-based building design optimization for sustainability. Energy and Buildings, Dalian, v. 105, p. 139-153, 2015. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.037 0378-7788

[5] YANG, X.; KOZIEL, S. (Ed.). Computational optimization and applications in engineering and industry. New York: Springer Science & Business Media, 2011.

[6] JANCHIKOSKI, F. R.; BARDELLI, G.; CRIPPA, J. Otimização Computacional para Desenvolvimento de Projetos Sustentáveis em BIM: Uma Revisão Sistemática da Literatura. Caderno PAIC, [S. l.], v. 23, n. 1, p. 407–424, 2022. Disponível em: https://cadernopaic.fae.edu/cadernopaic/article/view/503. Acesso em: 26 out. 2024.

[7] BASSANEZI, R. C. Ensino-aprendizagem com modelação matemática. São Paulo: Contexto, 2002.

[8] Li, H.; LI, X. A Branch-and-Bound Algorithm for the Bi-Objective Quay Crane Scheduling Problem Based on Efficiency and Energy. Mathematics 2022, 10, 4705. https://doi.org/10.3390/math10244705.

[9] MARZOUK, M.; ABUBAKR, A. Decision support for tower crane selection with building information models and genetic algorithms. Automation Construction, 2016, 61, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.008.

[10] YANG, B.; FANG, T.; LUO, X.; LIU, B.; DONG, M. A BIM-Based Approach to Automated Prefabricated Building Construction Site Layout Planning. KSCE Journal Civil Engineering. 2022, 26, 1535– 1552 (2022). https://doi.org/10.1007/s12205-021-0746-x.

[11] ANTONIO, C.C. Otimização de Sistemas de Engenharia. Fundamentos e Algoritmos para o Projeto Ótimo. Editora Engebook, 1. ed. 2020.

[12] BRISKORN, D.; DIENSTKNECHT, M. Mixed-integer programming models for tower crane selection and positioning with respect to mutual interference. European Journal Operational Research. 2019, 273, 160–174. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.07.033.

[13] SAWHNEY, A., MUND, A. Adaptive probabilistic neural network-based crane type selectin system. Journal of Construction Engineering Management, 2002, 265-273. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364.

[14] SAWHNEY, A., MUND, A. IntelliCranes: an integrated crane type and model selection system. Construction Management and Economics, 2001, 227-237. https://doi.org/ 10.1080/01446190010008079.

[15] HUANG, C.; WONG, C.K.; TAM, C.M. Optimization of tower crane and material supply locations in a high-rise building site by mixed-integer linear programming. Automation Construction. 2011, 20, 571–580. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.11.023.

[16] JI, Y; SANKARAN, B.; CHOI, J.; LEITE, F. Integrating BIM and optimization techniques for enhanced tower crane planning, in: Congress on Computing in Civil Engineering, Proceedings, 2017. https://doi.org/10.1061/9780784480823.009.

[17] RAZAVIALAVI, S.; ABOUTIZK, S. (2013). Simulation application in construction site layout planning. 2013 Proceedings of the 30th ISARC, Montreal, Canada, 275-284. https://doi.org/10.3390/logistics5040065.

[18] WANG, J.; ZHANG, X.; SHOU, W.; WANG, X.; XU, B.; KIM, M.J.; WU, P. A BIM-based approach for automated tower crane layout planning. Automation Construction, 2015, 59, 168–178. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.05.006.

[19] HU, S.; FANG, Y.; MOEHLER R. C. BIM-based lift planning workflow for on-site assembly in modular construction projects. In: International Conference on Construction Engineering and Project Management, 2020, pp. 63–74.

[20] WU, K.; DE SOTO, G.; ZHANG. F. Spatio-temporal planning for tower cranes in construction projects with simulated annealing. Automation Construction. 111 (2020), https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103060.

[21] YIN, R.K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Democratização da linguagem arquitetônica através de gamificação, realidade aumentada e virtual

Democratization of Architectural Language through gamification, augmented reality, and virtual reality

Bianca Gomes dos Santos | Sondotécnica | bianca.santos@sondotecnica.com.br
Natália Nakamura Barros | Sondotécnica | natalia.barros.ext@sondotecnica.com.br | 0000-0001-8050-3481
Miguel Settimio Righetto | Sondotécnica Engenharia | miguel.righetto@sondotecnica.com.br
Stefania Dimitrov | Sondotécnica Engenharia | stefania.dimitrov@sondotecnica.com.br | 0009-0003-6330-7499

DOI: 10.5281/zenodo.14477561

Resumo

A linguagem arquitetônica tradicional muitas vezes se mostra inacessível para as pessoas que não possuem formação técnica nas áreas de arquitetura, engenharia e construção (AEC), o que cria uma barreira de comunicação entre os profissionais e os usuários finais. Essa barreira afeta não apenas os trabalhadores responsáveis pelo projeto e execução, mas também os futuros usuários do empreendimento, que frequentemente têm dificuldade em visualizar o projeto antes da sua construção. O uso de tecnologias emergentes, como gamificação, realidade virtual (RV) e realidade aumentada (RA), associadas à Modelagem da Informação da Construção (BIM), oferece uma solução para tornar os projetos mais compreensíveis e acessíveis a uma audiência mais ampla, incluindo os próprios usuários do espaço. Este estudo propõe a democratização da linguagem arquitetônica, facilitando a comunicação e a compreensão dos projetos por diferentes públicos. A metodologia utilizada neste estudo consiste na análise de casos de uso de tecnologias de RV, RA e gamificação integradas ao modelo BIM. As etapas principais incluíram: (i) identificação e seleção de ferramentas tecnológicas que permitem a integração de BIM com RV, RA e gamificação; (ii) avaliação da aplicação destas tecnologias para visualização do projeto e (iii) testes com usuários para avaliar sua compreensão do projeto utilizando RV, RA e gamificação, comparando com métodos tradicionais de comunicação visual. Foi utilizado como caso de estudo, o projeto de edificação de habitação de interesse social (HIS) modelada em BIM. O modelo da edificação unifamiliar foi transferido para o aplicativo Augin para RA, e o software Spatial e Twinmotion para a gamificação e RV. As tecnologias foram experimentadas pelos usuários com uso de diferentes dispositivos, como tablets para visualização da RA, óculos de RV e computadores de mesa e celulares para visualização da gamificação. Os resultados iniciais indicaram que o uso de RV, RA e gamificação melhorou significativamente a visualização e o entendimento das pessoas que não possuem conhecimento técnico na AEC. A possibilidade de interagir com o projeto em um ambiente tridimensional permite que os usuários compreendam melhor os espaços e tomem decisões informadas antes da construção. A gamificação, por sua vez, tem o potencial de engajar o público e torná-lo mais envolvido no processo de desenvolvimento do projeto, proporcionando uma experiência educativa e interativa que simplifica a comunicação complexa de elementos arquitetônicos. A principal contribuição deste estudo é a promoção de um diálogo mais acessível e inclusivo entre arquitetos, engenheiros e usuários finais. Ao integrar tecnologias como RV, RA e gamificação com o BIM, é possível transformar a maneira como os projetos

são apresentados e entendidos por uma audiência diversa, desde investidores e clientes até os futuros usuários dos espaços. Isso resulta em uma maior transparência, redução de mal-entendidos, e uma maior satisfação com o resultado do projeto. Além disso, a democratização da linguagem arquitetônica promove uma maior participação dos usuários no processo de projeto, o que pode influenciar positivamente a qualidade e funcionalidade dos empreendimentos.

Palavras-chave: BIM. Visualização. Realidade Aumentada. Realidade Virtual. Gamificação.

Abstract

Traditional architectural language is often inaccessible to people without technical training in the fields of architecture, engineering, and construction (AEC), creating a communication barrier between professionals and end-users. This barrier affects not only the workers responsible for the design and execution but also the future users of the building, who frequently struggle to visualize the project before its construction. The use of emerging technologies, such as gamification, virtual reality (VR), and augmented reality (AR), in conjunction with Building Information Modeling (BIM), offers a solution to make projects more understandable and accessible to a broader audience, including space's actual users. This study proposes the democratization of architectural language, facilitating communication and understanding of projects by various audiences. The methodology used in this study consists of analyzing use cases of VR, AR, and gamification technologies integrated with the BIM model. The main steps included: (i) identifying and selecting technological tools that enable the integration of BIM with VR, AR, and gamification; (ii) evaluating the application of these technologies for project visualization; and (iii) conducting user tests to assess their understanding of the project using VR, AR, and gamification, comparing it to traditional visual communication methods. As a case study, we used a social housing building project modeled in BIM. The model of the single-family building was transferred to the Augin app for AR, and the Spatial and Twinmotion software for gamification and VR. Users experienced these technologies using various devices, such as tablets for AR visualization, VR headsets, desktop computers, and mobile phones for gamification visualization. Initial results indicated that the use of VR, AR, and gamification significantly improved the visualization and understanding of people without technical knowledge in AEC. The ability to interact with the project in a three-dimensional environment enables users to better understand spaces and make informed decisions before construction. Gamification, in turn, has the potential to engage the public and make them more involved in the project development process, providing an educational and interactive experience that simplifies the complex communication of architectural elements. The main contribution of this study is the promotion of a more accessible and inclusive dialogue between architects, engineers, and end-users. By integrating technologies such as VR, AR, and gamification with BIM, it is possible to transform how projects are presented and understood by a diverse audience, from investors and clients to future space users. This results in greater transparency, reduced misunderstandings, and increased satisfaction with the project outcome. Furthermore, democratizing architectural language promotes greater user participation in the design process, which can positively influence the quality and functionality of developments.

Keywords: BIM. Visualization. Augmented Reality. Virtual Reality. Gamification.

INTRODUÇÃO

A linguagem arquitetônica tradicional frequentemente se mostra complexa para aqueles sem formação em áreas como arquitetura, engenharia e construção (AEC), criando uma barreira de comunicação entre profissionais e usuários finais. Essa barreira impacta não apenas os envolvidos no projeto e execução, mas também os futuros usuários, que muitas vezes enfrentam dificuldades em compreender o projeto antes de sua construção. No entanto, tecnologias emergentes como gamificação, realidade virtual (RV) e realidade aumentada (RA), combinadas com a Modelagem da Informação da Construção (BIM), surgem como uma solução promissora para democratizar a linguagem arquitetônica.

Ao integrar RV, RA e gamificação com o BIM, os projetos podem se tornar mais compreensíveis e acessíveis a um público mais amplo. A experiência imersiva, potencializada pela gamificação, pode aumentar o engajamento do público e promover um processo de desenvolvimento do projeto mais colaborativo e transparente.

O presente artigo explorará o potencial de BIM, RV, RA e gamificação para a democratização da linguagem arquitetônica. Abordaremos como essas tecnologias podem facilitar a comunicação e o entendimento de projetos por diferentes públicos, incluindo os próprios usuários dos espaços e criar um diálogo mais acessível e inclusivo entre arquitetos, engenheiros e usuários finais.

REFERENCIAL TEÓRICO

A democratização da linguagem arquitetônica, objetivo central do presente artigo, visa a tornar os projetos de construção mais acessíveis e compreensíveis para todos os envolvidos, independentemente de sua formação técnica.

BIM consiste em um conjunto de tecnologias e processos integrados que permite a criação, o uso e a atualização de modelos digitais da construção, de modo colaborativo, que sirva a todos os participantes do empreendimento, em qualquer etapa do ciclo de vida [1]. Essa abordagem holística fornece uma base sólida para a democratização da linguagem arquitetônica, permitindo que diferentes stakeholders acessem e compreendam as informações do projeto de maneira mais eficiente.

As tecnologias de RV e RA, por sua vez, proporcionam experiências imersivas e interativas que facilitam a visualização e a compreensão dos projetos [2,3]. RV permite aos usuários "entrarem" no modelo virtual do projeto, explorando os espaços em 3D e experimentando diferentes perspectivas [2]. E RA possibilita a visualização do projeto no contexto real, através da sobreposição de informações virtuais ao mundo real, facilitando a comunicação e o entendimento [4].

A gamificação, por sua vez, utiliza elementos de jogos para aumentar o engajamento e a motivação dos usuários [3,5]. Ao integrar elementos como pontuação, desafios e recompensas, a gamificação pode transformar a experiência de interação com o projeto em algo mais intuitivo, divertido e educativo, especialmente para aqueles sem expertise técnica [5].

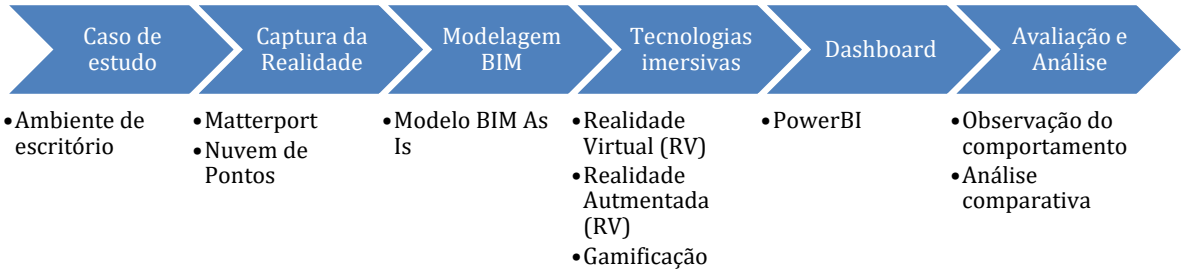
A convergência dessas tecnologias, BIM, RV, RA e Gamificação, aponta para um novo paradigma na arquitetura e construção [2,3]. Esse novo cenário permite: a superação das barreiras de comunicação, a partir da tradução da complexa linguagem técnica em experiências visuais e interativas, acessíveis a todos; fortalecimento da colaboração, com um ambiente de projeto mais transparente e participativo; e auxílio à tomada de decisão mais assertiva, a partir de uma compreensão mais completa do projeto, minimizando erros e retrabalhos [2].

Apesar do grande potencial, a democratização da linguagem arquitetônica por meio da integração dessas tecnologias ainda enfrenta desafios, como a necessidade de desenvolver interfaces e plataformas mais intuitivas e acessíveis, que atendam às necessidades de diferentes públicos e capacitação de profissionais da área de AEC, para que possam utilizar essas tecnologias de forma eficiente [2].

MÉTODO

Para concretizar a proposta de democratização da linguagem arquitetônica através da integração de BIM, RV, RA e gamificação, o estudo utilizou como base o desenvolvimento de um caso de estudo [6], permitindo a validação e análise dos resultados obtidos. O procedimento adotado consistiu nas seguintes etapas: (i) definição do caso de estudo, (ii) captura da realidade, (iii) modelagem BIM, (iv) implementação das tecnologias imersivas, (v) Dashboard e (vi) avaliação e análise dos resultados, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Procedimento do método adotado



Fonte: os autores.

O caso de estudo (i) selecionado consiste no ambiente físico que abriga o [OMITIDO]. O espaço contém aproximadamente 324 m², ambiente de escritório, composto por mesas, cadeiras e computadores. A captura da realidade (ii) foi feita com o equipamento Matterport Pro3. A captura originou a nuvem de pontos do ambiente. A modelagem BIM (iii) foi realizada a partir da nuvem de pontos no software Autodesk Revit 2025.

Na etapa de implementação das tecnologias imersivas (iv) foram testadas a gamificação, RA e RV. A gamificação foi apresentada no software Spatial, o modelo BIM desenvolvido foi importado para o software Blender para aplicação das texturas no modelo. Após, o modelo foi exportando no formato GLTF, para posterior importação no software Spatial. Para aplicação da RV, o ambiente imersivo presente no Spatial foi acessado por um aplicativo instalado nos óculos. Os óculos utilizados foi o modelo Oculus Meta Quest 2. Na aplicação da RA, as instalações elétricas do modelo BIM foram importadas no software Augin.

O Dashboard (v) foi desenvolvido no software PowerBI. Inicialmente, os dados referentes ao patrimônio foram inseridos no modelo BIM para gestão de ativos. Estes dados foram inseridos nos parâmetros ‘mark’, com o número de patrimônio e ‘comments’, com a descrição resumida do ativo. O modelo BIM foi importado no Speckle e inserido no PowerBI através de um link de API. Após, foram elaborados diversos gráficos e visualizadores com o objetivo de auxiliar na gestão de ativos por parte dos tomadores de decisão.

Na avaliação e análise dos resultados (vi), foram feitos testes com usuários, para avaliar a efetividade da aplicação das tecnologias propostas. Foi feita a observação do comportamento dos usuários durante a interação com o projeto e análise comparativa entre os resultados obtidos com o uso das tecnologias e os métodos tradicionais de comunicação, como plantas baixas e maquetes físicas.

RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados alcançados da aplicação da gamificação, RA e RV para auxiliar na democratização da linguagem arquitetônica.

A gamificação feita no software Spatial possibilitou a interação do usuário no ambiente, de forma imersiva, conforme apresentado na Figura 2. A partir de um link de acesso, o usuário pôde baixar o aplicativo no celular ou acessar o ambiente imersivo pelo desktop. O ambiente permite a entrada de vários usuários ao mesmo tempo, de modo a possibilitar a interação e colaboração. O software utilizado na gamificação possui ferramentas como gestos e chat de discussão, de modo a possibilitar a interação e conversa entre os usuários.

Figura 2 – Gamificação do ambiente de estudo



Fonte: os autores.

A realidade virtual do ambiente de estudo possibilitou a imersão do usuário através dos óculos de RV (Figura 3). Os usuários conseguiram caminhar pelo modelo, em tamanho real, facilitando a compreensão por parte das pessoas que não têm conhecimento específico em AEC.

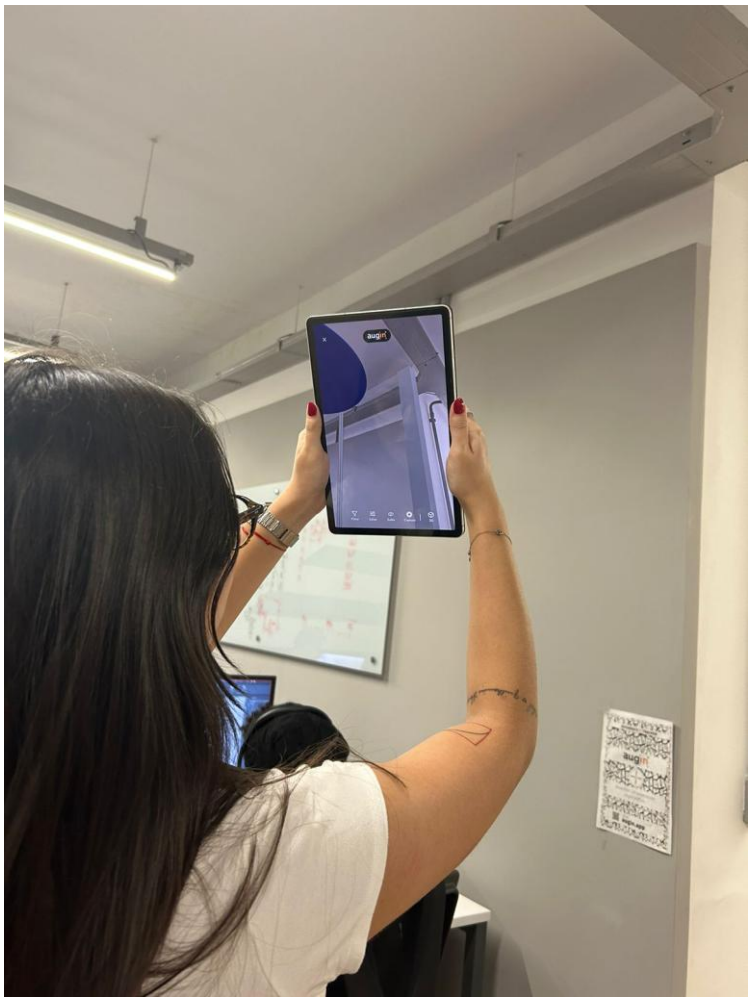
Figura 3 – Realidade Virtual aplicada ao ambiente de estudo



Fonte: os autores.

A realidade aumentada (Figura 4) possibilitou a visualização das instalações elétricas do ambiente, de modo a facilitar a manutenção. Além disso, foi possível visualizar o projeto de um forro em tamanho real e no local de futura implantação. Esta visualização permitiu a compreensão do projeto antes da obra e possibilitou a coleta de feedback por parte dos usuários para aprimoramento do projeto.

Figura 4 – Realidade aumentada aplicada ao ambiente de estudo



Fonte: os autores.

O Dashboard, apresentado na Figura 5, facilitou a leitura e compreensão do modelo BIM por parte das pessoas que não tem conhecimento técnico em AEC. O Dashboard foi composto pela visualização do modelo BIM, planta-baixa, nuvem de pontos, matriz de categoria por elemento e dados sobre o ambiente (nome, área, tipo e principal uso). Além disso, o Dashboard é interativo, ou seja, à medida que o usuário clica em determinado elemento ou informação, os visualizadores focam no elemento selecionado.

Figura 5 – Dashboard interativo para Gestão de Ativos



Fonte: os autores.

AVALIAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Durante a interação com o modelo, observou-se que os usuários que utilizaram RV se entusiasmaram com o uso dos óculos. A navegação no modelo virtual se mostrou intuitiva e fácil para a maioria dos usuários, proporcionando uma experiência imersiva e interativa. Por outro lado, os usuários que utilizaram apenas plantas baixas tiveram maior dificuldade em compreender a tridimensionalidade do projeto e, consequentemente, dedicaram menos tempo à análise do projeto.

A RA permitiu aos usuários visualizarem o projeto inserido no contexto real, o que facilitou a compreensão da relação entre o construído e o projetado. Os usuários demonstraram grande interesse em explorar essa funcionalidade, movimentando-se pelo espaço físico para observar o projeto de diferentes ângulos. A gamificação mostrou-se eficaz em aumentar o engajamento dos usuários, que se mostraram mais motivados a explorar o projeto e a participar das atividades propostas.

Observou-se também uma maior interação entre os usuários durante a experiência com as tecnologias imersivas, como RV e RA. Os usuários compartilharam suas impressões, discutiram detalhes do projeto e auxiliaram uns aos outros na navegação e exploração do modelo virtual.

No uso do Dashboard, os usuários expuseram uma maior facilidade de compreensão de dados específicos e complexos, como é o caso dos dados vinculados ao modelo BIM. Esta interação possibilitou aos tomadores de decisão a navegação e a visualização dos dados do modelo BIM de forma fácil e intuitiva, auxiliando na gestão de ativos do ambiente.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo corroboraram o referencial teórico que aponta para o potencial das tecnologias imersivas e da gamificação como ferramentas para a democratização da linguagem arquitetônica. A linguagem arquitetônica tradicional pode ser inacessível para pessoas sem formação técnica, criando uma barreira de comunicação entre profissionais e usuários finais. O uso de tecnologias como RV, RA e gamificação, associadas ao BIM, oferece uma solução para tornar os projetos mais compreensíveis e acessíveis a um público mais amplo.

Os dados coletados durante a observação do comportamento dos usuários demonstraram que a RV facilitou a visualização e a compreensão da volumetria do projeto, enquanto a RA permitiu que os usuários visualizassem o projeto no contexto real. A gamificação, por sua vez, comprovou seu potencial em aumentar o engajamento dos usuários.

Conclui-se, portanto, que o uso de RV, RA e gamificação representa um avanço significativo na comunicação de projetos arquitetônicos, tornando-os mais acessíveis e compreensíveis para diferentes públicos. O uso dessas tecnologias democratiza a linguagem arquitetônica, promovendo um diálogo mais eficaz entre profissionais da área e usuários finais. A aplicação dessas tecnologias na prática profissional pode resultar em projetos mais inclusivos, participativos e, consequentemente, mais adequados às necessidades dos seus usuários.

Como futura pesquisa, pretende-se aplicar o procedimento apresentado neste artigo em um projeto de Habitação de Interesse Social (HIS), a fim de verificar se o uso destas tecnologias pode auxiliar na visualização e na compreensão do projeto pelos futuros moradores e promover a colaboração entre os moradores e a equipe de projeto.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. Decreto no 10.306, de 2 de abril de 2020. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2020.

[2] ZHANG, Y. et al. *Virtual reality applications for the built environment: Research trends and opportunities. Automation in Construction*, v. 118, p. 103311, 1 out. 2020.

[3] FENG, Z.; GAO, Y.; ZHANG, T. *Gamification for Visualization Applications in the Construction Industry. Em: Industry 4.0 for the Built Environment*. [s.l.] Springer, Cham, 2022. p. 495–514.

[4] BELL, B.; FEINER, S.; HÖLLERER, T. *View management for virtual and augmented reality. Proceedings of the 14th Annual ACM symposium on User interface software and technology*. Anais...: UIST '01.New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 11 nov. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/502348.502363>. Acesso em: 12 nov. 2024

[5] OLSZEWSKI, R.; TUREK, A.; ŁĄCZYŃSKI, M. *Urban Gamification as a Source of Information for Spatial Data Analysis and Predictive Participatory Modelling of a City's Development*. . Em: 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON DATA MANAGEMENT TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS. 12 nov. 2024. Disponível em: <https://www.scitepress.org/Link.aspx?doi=10.5220/0006005201760181>. Acesso em: 12 nov. 2024

[6] GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Desafios e oportunidades para a implementação da Inteligência Artificial na Construção

Challenges and opportunities for implementing Artificial Intelligence in Construction

Leonardo Manzione | Escola Politécnica USP | leonardo@coordenar.com.br |

DOI: 10.5281/zenodo.14477662

Resumo

O setor da construção enfrenta inúmeros desafios complexos que limitam seu crescimento, como estouros de custos e prazos, questões de saúde e segurança no trabalho, baixa produtividade e a crescente escassez de mão de obra. Além disso, a construção civil é uma das indústrias menos digitalizadas, o que agrava sua dificuldade em superar esses obstáculos. No entanto, a Inteligência Artificial (IA), uma tecnologia digital avançada, tem revolucionado setores como manufatura, varejo e telecomunicações, trazendo transformações significativas. Áreas da IA, como aprendizado de máquina, sistemas baseados em conhecimento, visão computacional, robótica e otimização, têm sido aplicadas com sucesso em diversas indústrias, gerando melhorias substanciais em termos de lucratividade, eficiência operacional, segurança e proteção. Apesar do potencial de transformação que a IA oferece, o setor da construção ainda enfrenta desafios consideráveis em sua adoção e implementação. Este artigo tem como objetivo explorar as aplicações da IA no campo da construção civil, analisando as técnicas que estão sendo utilizadas e identificando tanto as oportunidades quanto os obstáculos que precisam ser superados para maximizar os benefícios dessa tecnologia no setor. Foi realizada uma revisão detalhada da literatura disponível, cobrindo as diversas formas de aplicação da IA no monitoramento de atividades, na gestão de riscos, na otimização de recursos e projetos entre outros. O estudo também examina a maneira como essas soluções estão sendo desenvolvidas e implementadas no setor de construção, destacando as áreas em que a IA já começou a trazer melhorias tangíveis. Além disso, o estudo apresenta uma análise crítica das barreiras que ainda dificultam a ampla adoção da IA na construção civil, como a falta de dados estruturados, a resistência à mudança e a necessidade de qualificação técnica dos profissionais. A pesquisa busca oferecer um panorama completo das principais oportunidades que a IA pode proporcionar para resolver problemas específicos da construção civil, ao mesmo tempo que propõe caminhos para superar os desafios relacionados à implementação dessa tecnologia. Assim, este trabalho oferece uma visão ampla e estratégica para o futuro da IA no setor, apontando as direções necessárias para que a construção civil possa, de fato, usufruir de todos os benefícios proporcionados pela digitalização e pela inovação tecnológica.

Palavras-chave: Inteligência artificial. Aprendizado de máquina. Desafios da IA. Oportunidades de IA. Setor de construção. Robótica

Abstract

The construction sector faces numerous complex challenges that limit its growth, such as cost and deadline overruns, occupational health and safety issues, low productivity and a growing labor shortage. In addition,

construction is one of the least digitalized industries, which exacerbates its difficulty in overcoming these obstacles. However, Artificial Intelligence (AI), an advanced digital technology, has revolutionized sectors such as manufacturing, retail and telecommunications, bringing about significant transformations. Areas of AI such as machine learning, knowledge-based systems, computer vision, robotics and optimization have been successfully applied in various industries, generating substantial improvements in terms of profitability, operational efficiency, safety and security. Despite the transformative potential that AI offers, the construction sector still faces considerable challenges in its adoption and implementation. This article aims to explore the applications of AI in the construction field, analyzing the techniques that are being used and identifying both the opportunities and the obstacles that need to be overcome to maximize the benefits of this technology in the sector. A detailed review of the available literature was carried out, covering the various ways in which AI can be applied to monitoring activities, managing risks, optimizing resources and reducing waste. The study also examines how these solutions are being developed and implemented in the construction sector, highlighting the areas in which AI has already begun to bring tangible improvements. In addition, the study presents a critical analysis of the barriers that still hinder the widespread adoption of AI in construction, such as the lack of structured data, resistance to change and the need for technical qualifications for professionals. The research seeks to provide a complete overview of the main opportunities that AI can provide to solve specific problems in the construction industry, while also proposing ways to overcome the challenges related to implementing this technology. Thus, this work offers a broad and strategic vision for the future of AI in the sector, pointing out the necessary directions so that the construction industry can truly enjoy all the benefits provided by digitalization and technological innovation.

Keywords: Artificial intelligence. Machine learning. AI challenges. AI opportunities. Construction sector. Robotics

MÁQUINAS PODEM PROCESSAR INFORMAÇÕES DE FORMA INTELIGENTE?

INTRODUÇÃO À QUESTÃO: MÁQUINAS PODEM PENSAR?

Em 1950, Alan Turing, um pioneiro da computação, publicou o artigo "Computing Machinery and Intelligence", no qual levantou uma questão fundamental: “Máquinas podem pensar?”. Como os conceitos de "máquina" e "pensar" eram vagos na época, Turing reformulou a questão em um experimento chamado "Jogo da Imitação". Esse jogo envolve três participantes: um homem, uma mulher e um interrogador, que devem se comunicar sem contato visual. O interrogador deve identificar quem é quem, e Turing sugeriu substituir um dos humanos por uma máquina para verificar se esta poderia enganar o interrogador, fazendo-o acreditar que é humana.

O ponto central da questão de Turing não é se uma máquina pensa como um ser humano, mas se pode se comportar de maneira indistinguível de um ser pensante. Ao longo de seu texto, ele abordou várias objeções teológicas, filosóficas e científicas à ideia de que máquinas poderiam ter capacidades de "pensamento". Turing também sugeriu que as máquinas poderiam aprender com dados e melhorar ao longo do tempo, comparando esse processo com o desenvolvimento de uma criança. Ele previu que, com o avanço da tecnologia, as máquinas se tornariam aptas a participar do "Jogo da Imitação" em igualdade com humanos. Em 2014, uma IA passou no Teste de Turing durante um experimento na Universidade de Reading, confirmando parte da previsão de Turing. Esse teste e o trabalho pioneiro de Turing serviram de base para o desenvolvimento da IA [7].

O QUE É INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL?

O termo "inteligência artificial" (IA) foi cunhado durante o evento "*Dartmouth Summer Research*", em 1956, que formalizou a IA como disciplina de pesquisa. Na ocasião, os pesquisadores propuseram que qualquer aspecto da inteligência humana, incluindo aprendizado e habilidades cognitivas, poderia ser descrito a ponto de ser replicado por uma máquina. Essa visão enfatizava a formalização e a simulação do comportamento humano inteligente nas máquinas, estabelecendo as bases para a IA moderna [7].

O programa *Dartmouth Summer Research* desempenhou um papel fundamental na formação do campo da IA, e sua importância é comemorada por uma placa no Dartmouth College, apresentada em

2006 durante uma reunião que marcou o 50º aniversário do programa, [1], [2], [3]. A placa no *Dartmouth College* apresenta um relato histórico do surgimento da inteligência artificial em 1955, quando um grupo de indivíduos com experiência em computação militar solicitou à Fundação Rockefeller um seminário de bolsas de verão. Esse pedido acabou resultando na criação do Projeto de Inteligência Artificial da Dartmouth Summer Research. A premissa central de sua proposta era que o comportamento humano inteligente consiste em processos que podem ser formalizados e replicados em máquinas, [2], [3]. A inteligência artificial, em essência, envolve a simulação de processos de inteligência humana por máquinas, especialmente sistemas de computador. Ela abrange vários subcampos e divisões, incluindo aprendizado de máquina (ML), sistemas baseados em conhecimento, visão computacional, robótica, processamento de linguagem natural, planejamento e programação automática, otimização e blockchain. Essas divisões representam diferentes aspectos e aplicações da IA, cada uma contribuindo para o avanço e o desenvolvimento do campo mais amplo [3],[1].

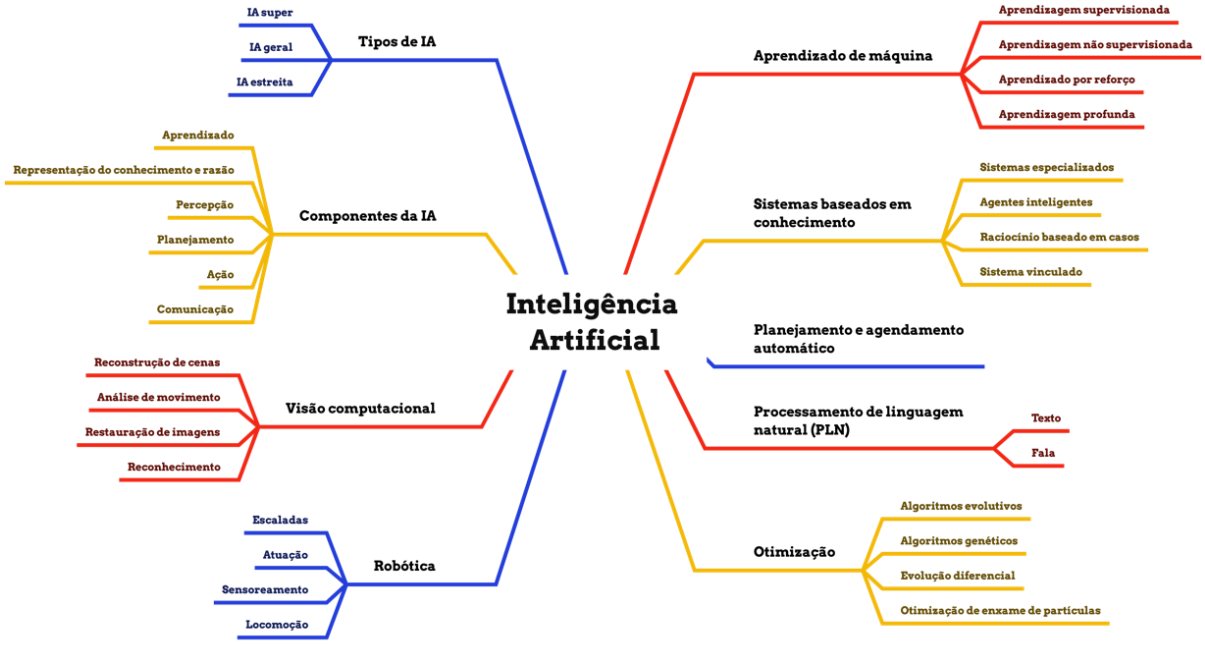
VISÃO GERAL E SUBCAMPOS DA IA

O conceito de inteligência artificial deriva de diferentes campos, incluindo filosofia, ficção, imaginação, ciência da computação e engenharia. A definição mais amplamente aceita foi dada por [1]: "IA é o estudo de como fazer com que as máquinas façam coisas que, no momento, as pessoas fazem melhor." A IA é dividida em três tipos:

1. Inteligência Artificial Estreita (IAN): Conhecida também como IA fraca, aplica-se a tarefas específicas, como jogar xadrez, prever o clima ou sugerir recomendações. Ela não tem capacidade de realizar tarefas fora de seu domínio programado.
2. Inteligência Artificial Geral (IAG): Referida como IA forte, tem como objetivo desenvolver máquinas que operem no mesmo nível que os humanos em múltiplos domínios. A IAG pretende replicar aspectos como raciocínio, tomada de decisão e emoções, mas ainda é um objetivo distante.
3. Superinteligência Artificial (ASI): Refere-se a máquinas que superariam a inteligência humana. Esse nível de IA ultrapassaria as capacidades humanas em todas as áreas, levantando preocupações sobre segurança e controle.

Dentro desses tipos, existem subcampos que avançaram para facilitar o uso da IA em áreas como construção, saúde, transporte e outros setores, Figura 1.

Figura 1: Componentes, tipos e campos da IA, adaptado de [2]



Fonte: O autor.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA CONSTRUÇÃO

Impacto da IA e Inovação Criativa

O desenvolvimento da IA vem transformando a construção civil, com inovações como o design generativo, que combina IA e design paramétrico para gerar alternativas de design com base em critérios como custo e eficiência energética. Esse tipo de design permite uma abordagem criativa que não se limita à intervenção humana direta. No entanto, as ferramentas de design generativo enfrentam críticas sobre a falta de originalidade e autoria criativa.

Plataformas de IA, como o DALL-E e o Midjourney, permitem que usuários criem imagens a partir de descrições textuais, o que gerou debates sobre o papel da IA na arte e na expressão criativa. Além disso, o uso dessas tecnologias levanta questões éticas e culturais, como a possibilidade de "terceirização da imaginação" e a limitação da diversidade cultural. Esses sistemas também refletem vieses presentes nos dados, o que pode resultar em representações desiguais.

Aplicações Específicas da IA na Construção

A IA possui diversas aplicações que estão revolucionando o setor de construção:

1. Aprendizado de Máquina (ML): Utilizado para prever custos, otimizar cronogramas e detectar riscos. Por exemplo:
    - Modelagem preditiva de custos: Utiliza dados históricos para prever custos futuros, permitindo melhor planejamento orçamentário.
    - Otimização do cronograma: Analisa projetos anteriores para minimizar interrupções e atrasos.
    - Manutenção preditiva: Monitora dados de equipamentos para prever falhas e evitar paralisações.
2. Visão Computacional (CV): Capacita máquinas a interpretar imagens e vídeos, sendo aplicada no monitoramento de canteiros de obras, identificação de defeitos e segurança do trabalhador. Exemplos incluem:

- Monitoramento de progresso: Drones e câmeras 360º capturam imagens em tempo real, permitindo inspeções automatizadas.
- Detecção de defeitos: Algoritmos identificam rachaduras ou corrosão, oferecendo avisos antecipados.

3. Robótica e Automação: Robôs executam tarefas repetitivas e perigosas, como:
   - Robôs de alvenaria: Aumentam a eficiência na construção de paredes e estruturas.
   - Robôs de demolição: Garantem segurança em ambientes perigosos.
4. Processamento de Linguagem Natural (NLP): Facilita a comunicação e o gerenciamento de contratos por meio da análise automática de documentos. Exemplos:
   - Gerenciamento de contratos: Algoritmos identificam riscos e garantem conformidade contratual.
   - *Chatbots*: Fornecem informações em tempo real para trabalhadores, reduzindo atrasos.
5. Algoritmos de Otimização: Essenciais para o gerenciamento de recursos e cronogramas, os algoritmos de otimização ajudam na alocação de mão de obra e na minimização de desperdícios.

SOFTWARES DE IA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Ferramentas e Plataformas Utilizadas

Existem vários softwares que aplicam IA na construção civil para diferentes funções:

1. Design e Modelagem Generativa:
   - Autodesk Revit + Dynamo: Dynamo permite a criação de designs generativos dentro do Revit.
   - Rhino + Grasshopper: Facilita o design paramétrico com algoritmos avançados.
2. Análise Preditiva e Monitoramento:
   - Oracle Aconex: Utiliza aprendizado de máquina para prever atrasos e identificar riscos.
   - Smartvid.io: Analisa imagens para identificar riscos de segurança.
3. Visão Computacional e Drones:
   - DroneDeploy: Monitora o progresso da obra por meio de drones.
   - OpenSpace AI: Mapeia automaticamente o canteiro de obras com câmeras 360º.
4. Manutenção Predial e Operações:
   - IBM Maximo: Monitora ativos e prevê necessidades de manutenção.
   - Azure Digital Twins: Simula ambientes físicos para insights de manutenção.

Essas ferramentas destacam a abrangência da IA no setor de construção e a integração de diferentes tecnologias para melhorar a eficiência e segurança nas obras.

TENDÊNCIAS E FUTURO DA IA NA CONSTRUÇÃO

O setor de construção está em constante evolução, com tendências emergentes como:

1. BIM alimentado por IA: Integra a análise de dados e a visualização para melhorar o gerenciamento de projetos.
2. Sensores de IoT: Permitem o monitoramento em tempo real e geram dados que alimentam modelos de IA.
3. Avanços em Robótica: Desenvolvimento de robôs mais versáteis para tarefas complexas no canteiro de obras.
4. Blockchain: Garante transparência e segurança em transações e processos de construção.
5. IA Explicável: A crescente demanda por IA explicável visa aumentar a transparência e confiança em sistemas de IA.

RECOMENDAÇÕES PARA ADOÇÃO DA IA

Para aproveitar totalmente o potencial da IA na construção, recomenda-se:

- Investir em Infraestrutura de Dados: Desenvolver sistemas de gerenciamento de dados para garantir padronização e qualidade.
- Colaboração Intersetorial: Fomentar a parceria entre construtoras, fornecedores de tecnologia e órgãos de pesquisa.
- Capacitação e Treinamento: Desenvolver habilidades específicas para o uso de IA na construção.
- Desenvolvimento de Diretrizes Éticas: Estabelecer regulamentações claras para garantir o uso responsável da IA.
- Promoção da Pesquisa: Investir em pesquisa para expandir as aplicações da IA.
- Incentivos Governamentais: Oferecer suporte financeiro para empresas que adotam tecnologias de IA.

Essas estratégias promovem a adoção responsável da IA abordando os desafios e maximizando os benefícios para o setor.

CONCLUSÃO

A incorporação da IA e do BIM representa uma oportunidade única para transformar o setor de construção, aumentando a produtividade, segurança e sustentabilidade. Tecnologias como drones, robôs, algoritmos de aprendizado e gêmeos digitais estão mudando a forma como as construções são planejadas e executadas, com benefícios significativos em todas as etapas do ciclo de vida do projeto. É fundamental que o setor de construção adote uma abordagem inovadora e colabore para explorar plenamente o potencial dessas tecnologias.

REFERÊNCIAS

[1] SALAMI, H.; ALOTHMAN, K. Engineering Training and its Importance for Building Information Modelling International. Journal of BIM and Engineering Science, 2022

[2] SESTINO, A.; MAURO, A. "Leveraging Artificial Intelligence in Business: Implications, Applications and Methods", Technology Analysis & Strategic Management, 2021

[3] VANDEZANDE, J. Status da adoção do BIM nos EUA. Building Smart, 2021

[4] ANGWIN, J. *et al.* Machine Bias. Pro Publica. https://www.propublica.org/article/machine-bias-risk-assessments-in-criminal-sentencing, 2016

[5] S.O. ABIOYE ET AL. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. Automation in construction, 2021

[6] AL HAMMOUD; AHMED, S. Submetendo a BIM ao Plano Educacional da Faculdade

de Arquitetura de acordo com os padrões NARS e ARS. International Journal of BIM and

Engineering Science, 2022

[7] BORSOIS, T. “A Revolução do BIM: a formação de banco de dados e a transformação digital na construção civil”. Monografia curso de pós-graduação em Gestão de Projetos de Edifícios, MBA-Poli Integra, 2024.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Desafios e soluções para a implementação do BIM no setor da construção civil

Challenges and Solutions on BIM Implementation in the Civil Construction Sector

Paulo Vitor Mazia | PCV-UEM | 406001@uem.br | 0009-0002-1105-7195
Rafael Alves de Souza | PCV-UEM | rsouza@uem.br| 0000-0002-9990-2850

DOI: 10.5281/zenodo.14477830

Resumo

O *Building Information Modeling* (BIM) tem se destacado como uma inovação tecnológica que transforma a indústria da construção civil, trazendo melhorias em precisão, eficiência e evolução de projetos. Este trabalho tem como objetivo analisar os impactos da adoção do BIM em pequenas e médias empresas (PMEs) de engenharia, considerando tanto os benefícios quanto os desafios enfrentados durante o processo de implementação. A metodologia utilizada baseia-se em estudos de caso e experiências práticas, abrangendo a aplicação do BIM em diferentes contextos e escalas de projetos. Os resultados revelam que, em projetos de grande porte, a modelagem tridimensional e a integração das disciplinas de arquitetura, engenharia estrutural e instalações são cruciais para reduzir inconsistências, retrabalhos e melhorar a gestão do tempo e dos recursos. O uso de ferramentas BIM permitiu não apenas uma visualização mais detalhada do produto, mas também facilitou a tomada de decisões estratégicas, permitindo que possíveis problemas específicos sejam identificados e solucionados ainda nas fases iniciais do projeto. Esse benefício é especialmente relevante em projetos complexos, nos quais a antecipação de desafios pode evitar grandes prejuízos financeiros e atrasos. Por outro lado, os desafios enfrentados na implementação do BIM também são significativos, especialmente nas PMEs que possuem recursos limitados. A interoperabilidade entre as diferentes plataformas usadas pelos colaboradores é muitas vezes incompleta, o que pode gerar retrabalhos adicionais e atrasos. Além disso, a alta rotatividade de profissionais capacitados no mercado dificulta a manutenção de equipes especializadas, impactando qualidades na continuidade e na eficiência dos projetos. Nossa experiência mostra que a ausência de padrões claros de execução e a necessidade de personalização das ferramentas resultaram no aumento do tempo de concepção e ajustes de projetos, especialmente nas fases iniciais. Outro ponto crítico identificado é o custo elevado de treinamento e aquisição de licenças de software, que pode se tornar um obstáculo para a adoção plena do BIM pelas PMEs. Apesar de o BIM permitir a integração de dados como cronogramas e orçamentos diretamente no modelo, a implementação dessas funcionalidades é limitada pela falta de expertise e de recursos financeiros em empresas de menor porte. No entanto, quando aplicado corretamente, o BIM tem potencial para prever o desempenho do projeto antes mesmo da construção, minimizando riscos e melhorando o planejamento. Com base nas experiências comprovadas, conclui-se que, embora o BIM ofereça inúmeras vantagens, sua adoção pelas PMEs requer uma abordagem estratégica, que inclua o treinamento contínuo de colaboradores, o desenvolvimento de padrões específicos de execução e a criação de um ambiente favorável à interoperabilidade entre plataformas. Somente com um planejamento detalhado e a integração eficiente entre equipes e ferramentas será possível maximizar os benefícios do BIM e superar os desafios inerentes à sua implementação. Este estudo contribui ao demonstrar que a implementação gradual e coordenada do BIM é fundamental para

que ele se consolide como uma solução definitiva no setor da construção civil, especialmente entre pequenas e médias empresas que buscam melhorar sua eficiência e competitividade no mercado.

Palavras-chave: Adoção do BIM. PMEs de Engenharia. Qualidade de projetos. Inexperiência técnica. Erros de modelagem.

Abstract

Building Information Modeling (BIM) has been recognized as a technological innovation capable of transforming the construction industry, offering benefits such as improved accuracy, efficiency, and project coordination. This study aims to analyze the impacts of BIM implementation in small and medium-sized engineering companies (SMEs), highlighting both the benefits and challenges encountered during the process. The methodology used is based on case studies and practical experiences involving the application of BIM in different contexts and project scales. The results show that, in large-scale projects, three-dimensional modeling and the integration of disciplines such as architecture, structural engineering, and mechanical systems are crucial to reducing inconsistencies, rework, and optimizing time and resource management. The use of BIM tools has not only provided a more detailed visualization of the final product but has also facilitated strategic decision-making, allowing potential issues to be identified and resolved early in the project. This benefit is particularly significant in complex projects, where anticipating challenges can prevent major financial losses and delays. However, the challenges of BIM implementation are also substantial, especially in SMEs with limited resources. Interoperability between the different platforms used by team members is often incomplete, which can lead to additional work and delays. Additionally, the high turnover of BIM-specialized professionals in the market makes it difficult to maintain skilled teams, negatively impacting project continuity and efficiency. Our experience shows that the lack of clear execution standards and the need for customization of tools result in increased project conception and adjustment times, particularly in the early phases. Another critical issue is the high cost of training and software licenses, which can become a barrier to full BIM adoption by SMEs. Although BIM allows for the integration of data such as schedules and budgets directly into the model, the application of these advanced functionalities is limited by the lack of expertise and financial resources in smaller companies. Nevertheless, when correctly applied, BIM has the potential to predict project performance before construction even begins, minimizing risks and improving planning. Based on the experiences analyzed, we conclude that while BIM offers significant potential to improve project quality and efficiency, its adoption by SMEs requires a strategic approach that includes continuous training of staff, the development of specific standards, and the creation of an environment that fosters platform integration. Only with detailed planning and efficient integration between teams and tools will it be possible to fully realize the benefits of BIM and overcome the challenges of its implementation. This study contributes by demonstrating that a gradual and coordinated BIM adoption process is essential for it to become a definitive solution in the construction industry, particularly for small and medium-sized companies aiming to enhance their efficiency and competitiveness in an increasingly technological and demanding.

Keywords: Adoption of BIM. Engineering SMEs. Project quality. Technical inexperience. Modeling errors.

INTRODUÇÃO

A construção civil está passando por transformações tecnológicas profundas, principalmente com a introdução do *Building Information Modeling* (BIM). O BIM possibilita que projetos de engenharia e arquitetura sejam desenvolvidos e gerenciados de forma integrada, usando modelos tridimensionais ricos em informações sobre materiais, custos e cronogramas. Essa abordagem supera as limitações dos métodos tradicionais, como o uso de pranchetas e softwares CAD (*Computer-Aided Design*), que apresentam os elementos de forma bidimensional e já não atendem à demanda crescente por precisão, sustentabilidade e coordenação entre disciplinas.

Além de facilitar o desenvolvimento técnico, o BIM desempenha um papel crucial no suporte à tomada de decisões estratégicas. Ele integra dados importantes, como cronogramas (4D) e orçamentos (5D), o que permite que os envolvidos antecipem problemas e otimizem o uso de recursos antes mesmo do início da construção. De acordo com Wilkinson e Jupp, essa capacidade de simulação oferece uma visão mais precisa e confiável dos custos, riscos e benefícios, facilitando a tomada de decisões

embasadas em cada fase do ciclo de vida do projeto. A visualização e o controle mais eficientes ajudam a evitar aditivos contratuais e minimizam prejuízos financeiros decorrentes de decisões equivocadas [1].

No Brasil, a adoção do BIM acelerou nos últimos anos, impulsionada por exigências governamentais e pela necessidade de inovação para manter a competitividade no mercado da construção civil. Desde 2009, com a criação da Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da Construção (ABNT/CEE-134), o BIM vem ganhando relevância no cenário nacional. Programas como a Estratégia BIM BR e o Decreto nº 9.983/2019 demonstram o comprometimento do governo em expandir o uso dessa tecnologia em projetos públicos. No estado do Paraná, a Secretaria de Infraestrutura e Logística (SEIL) promoveu a integração do BIM em obras públicas, criando o Laboratório BIM do Paraná (LaBIM PR) em 2015 e desenvolvendo projetos-piloto que servem de referência para a aplicação em escala estadual.

Apesar das iniciativas, a transição para o BIM enfrenta desafios significativos, especialmente para pequenas e médias empresas de engenharia, que muitas vezes carecem de recursos para investir em tecnologia avançada e treinamento especializado. Além disso, há uma diferença geracional entre profissionais mais jovens, que têm mais facilidade com tecnologias digitais, e os mais experientes, que preferem métodos tradicionais como o CAD. Essa incompatibilidade dificulta a formação de equipes equilibradas e a implementação efetiva do BIM.

Este estudo discute os impactos da implementação do BIM em pequenas e médias empresas, focando nas dificuldades enfrentadas, como a retenção de talentos treinados e a adaptação aos softwares. São apresentados três estudos de caso de escritórios de engenharia no Paraná, destacando o uso do BIM em problemas complexos.

VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DO BIM

O *Building Information Modeling* (BIM) é amplamente reconhecido por integrar informações e melhorar a qualidade dos projetos em arquitetura, engenharia e construção. No entanto, a adoção dessa metodologia apresenta desvantagens, como o alto custo inicial e a necessidade de capacitar os profissionais envolvidos.

Uma das maiores vantagens do BIM é a compatibilização eficiente das disciplinas do projeto. A integração de elementos arquitetônicos, estruturais, elétricos e hidráulicos em um modelo tridimensional permite detectar incompatibilidades precocemente, evitando retrabalhos e desperdícios durante a obra [2]. Estudos demonstram que o uso de softwares como Revit® e Navisworks® supera a compatibilização tradicional em 2D, aumentando significativamente a detecção de interferências [3]. Assim, o BIM melhora o planejamento e o controle de custos, reduzindo a necessidade de aditivos contratuais e atrasos [4].

Outro benefício do BIM é o dinamismo ao longo do ciclo de vida do projeto. A automação de processos, como a geração de tabelas quantitativas e a verificação de interferências, permite uma melhor gestão das informações e reduz o tempo necessário para finalizar cada fase da obra [5]. O BIM também está alinhado a práticas sustentáveis, otimizando o uso de recursos materiais e financeiros [6].

A integração das dimensões 4D e 5D no BIM traz melhorias significativas no planejamento e controle. A projeção 4D vincula o cronograma ao modelo tridimensional, permitindo o acompanhamento em tempo real da obra e ajustes rápidos em caso de atrasos. A projeção 5D agrega o orçamento ao modelo, facilitando o controle simultâneo de tempo e custos. Isso garante uma gestão financeira mais eficiente e previsível [7].

Apesar das restrições de recursos, o BIM permite que as PMEs participem de grandes projetos com mais eficiência, facilitando a gestão de recursos, a coordenação entre disciplinas e a colaboração com outras empresas por meio de parcerias.

Além disso, a modelagem tridimensional do BIM proporciona documentação mais precisa e clara, melhorando a comunicação com o canteiro de obras. Comparado ao CAD, o BIM oferece detalhamentos mais didáticos, facilitando a execução da obra e reduzindo erros [2].

Contudo, o BIM também apresenta desafios. O custo de implementação é elevado, especialmente para empresas que utilizam métodos tradicionais. A necessidade de adquirir softwares específicos e investir em equipamentos modernos representa um obstáculo para PMEs [8]. A curva de aprendizado também é uma barreira, pois a adoção do BIM requer capacitação técnica que muitos profissionais não possuem. A falta de treinamento pode desmotivar colaboradores, como observado em uma pesquisa no estado do Rio de Janeiro, onde a percepção do BIM foi afetada pela ausência de investimentos em capacitação [6].

Resistências culturais à mudança também são frequentes. Muitas organizações ainda operam com CAD 2D, e a transição para o BIM exige uma reestruturação significativa, o que pode dificultar sua implementação [6]. Em alguns casos, a falta de clareza nas normas aplicáveis ao uso do BIM em processos públicos agrava esse problema [6].

O BIM oferece vantagens como a compatibilização de projetos e melhoria na gestão de informações, mas sua adoção, especialmente por PMEs, enfrenta desafios como o alto custo e a necessidade de capacitação. A superação dessas barreiras requer incentivos, investimentos em treinamento e estratégias de colaboração.

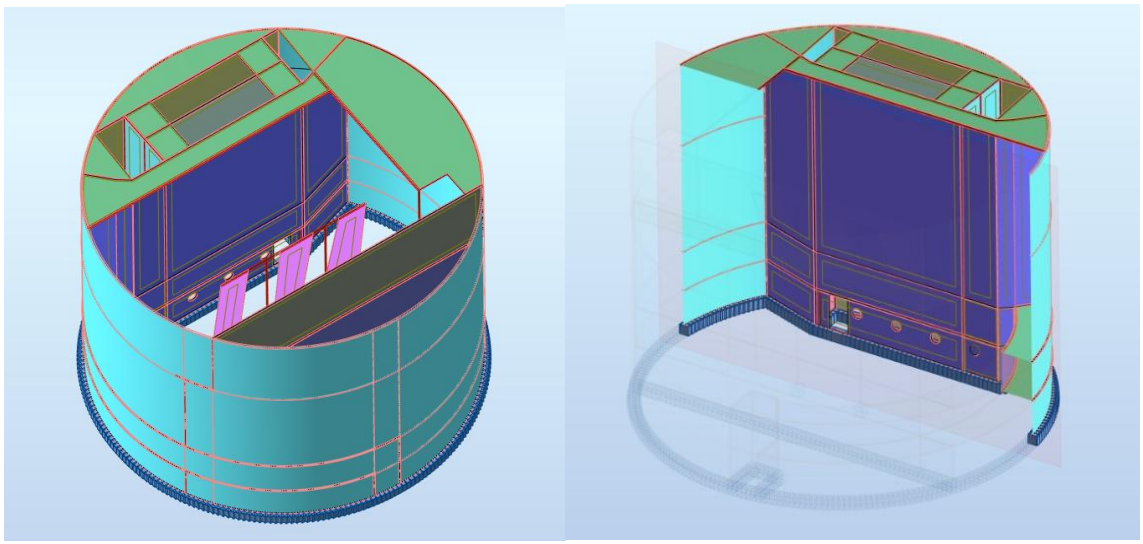
EXEMPLOS PRÁTICOS

Este capítulo apresenta exemplos práticos de como o BIM transforma o desenvolvimento de projetos complexos, melhorando a compatibilização de disciplinas, gestão de informações e controle de custos.

REFORÇO ESTRUTURAL DE UMA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO

O desenvolvimento de um projeto de reforço estrutural de uma estação elevatória de esgoto utilizando tecnologia BIM foi um trabalho complexo com muitos desafios técnicos enfrentados pelos autores, demonstrando que a decisão pela utilização de tal tecnologia foi fundamental em função do nível de complexidade da edificação, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1: Modelagem de Estação Elevatória de Esgoto utilizando tecnologia BIM.



Fonte: Autores

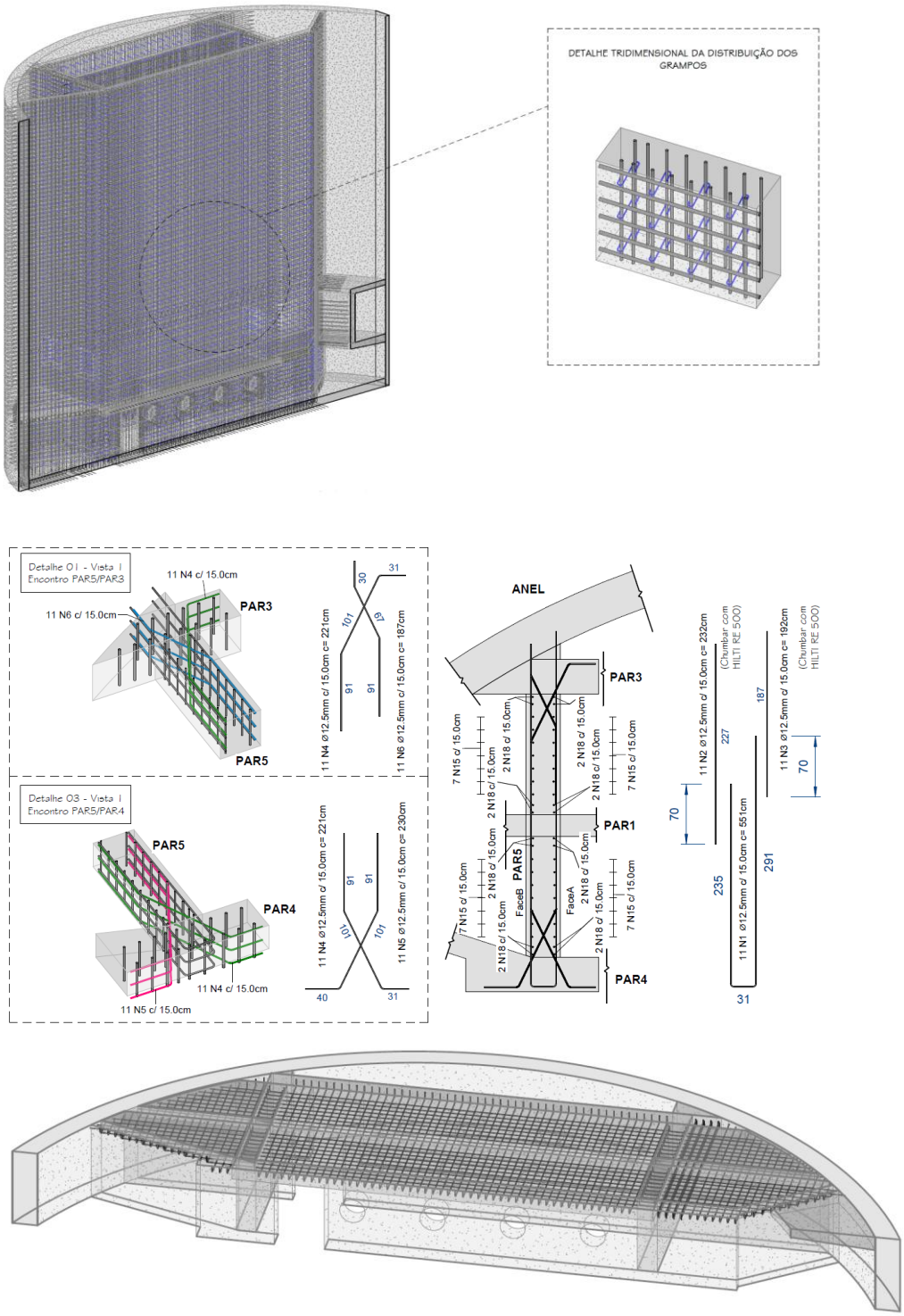
A decisão de elaborar o referido projeto em BIM foi fundamental para lidar com as diversas interferências entre os elementos estruturais existentes e os elementos projetados de reforço, compatibilizando de maneira realista as etapas de demolição e reconstrução da edificação.

A modelagem tridimensional permitiu uma visualização clara de todas as conexões e possíveis conflitos, algo que seria muito difícil de identificar e compatibilizar com o auxílio de técnicas tradicionais (modelagem em plataformas 2D). Inclusive, deve-se mencionar que muitas das patologias que levaram à necessidade de reforço da referida estrutura tiveram sua origem nos desenhos elaborados em 2D (dificuldade de entendimento de posicionamento das armaduras pela equipe de obra e conflito de armaduras gerando altas taxas não previstas em projeto).

Com o BIM, foi possível gerar pranchas detalhadas que destacaram as áreas críticas da intervenção, bem como, prever de maneira exata a quantidade de concreto e armaduras a serem utilizadas. As pranchas detalhadas facilitaram tanto o desenvolvimento do projeto quanto a comunicação entre as equipes envolvidas, garantindo assim uma compreensão bastante clara das intervenções necessárias.

Além disso, a modelagem tridimensional serviu como uma ferramenta didática para a equipe de execução, tornando o processo mais intuitivo e reduzindo significativamente o risco de erros na obra. A Figura 2 procura ilustrar vários detalhes de projeto desenvolvidos em BIM, que por sua vez forneceram uma perspectiva bastante realista do que efetivamente deverá ser executado em obra, evitando assim conflitos típicos que ocorreriam numa abordagem convencional.

Figura 2: Detalhes de projeto estrutural desenvolvidos em BIM para reforço de uma estação elevatória de esgoto.



Fonte: Autores

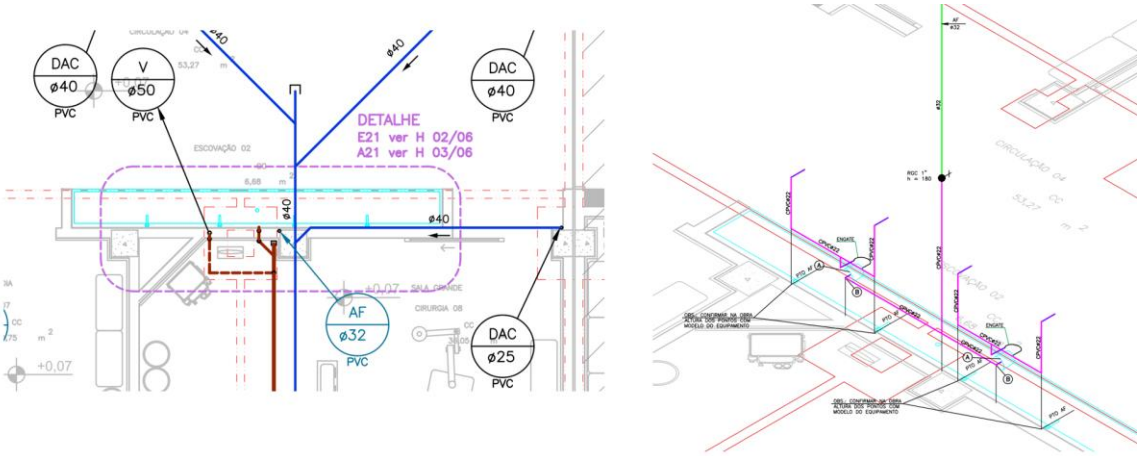
PROJETOS COMPLEMENTARES DE UM HOSPITAL EM MARINGÁ – PR.

Outro exemplo prático envolveu a modelagem e compatibilização do projeto arquitetônico e seus projetos complementares. Originalmente desenvolvido em CAD, Figura 3, o projeto foi remodelado em BIM para atender às novas exigências de licitação, o que trouxe maior clareza e eficiência. Durante o processo em BIM, foram identificadas inconsistências na modelagem original, como o desvio

inadequado de tubulações e a mistura incorreta de materiais no sistema hidrossanitário. O projeto anterior previa ajustes que, se mantidos, poderiam gerar impactos no orçamento e na execução da obra, como a necessidade de intervenções estruturais para a passagem de tubulações.

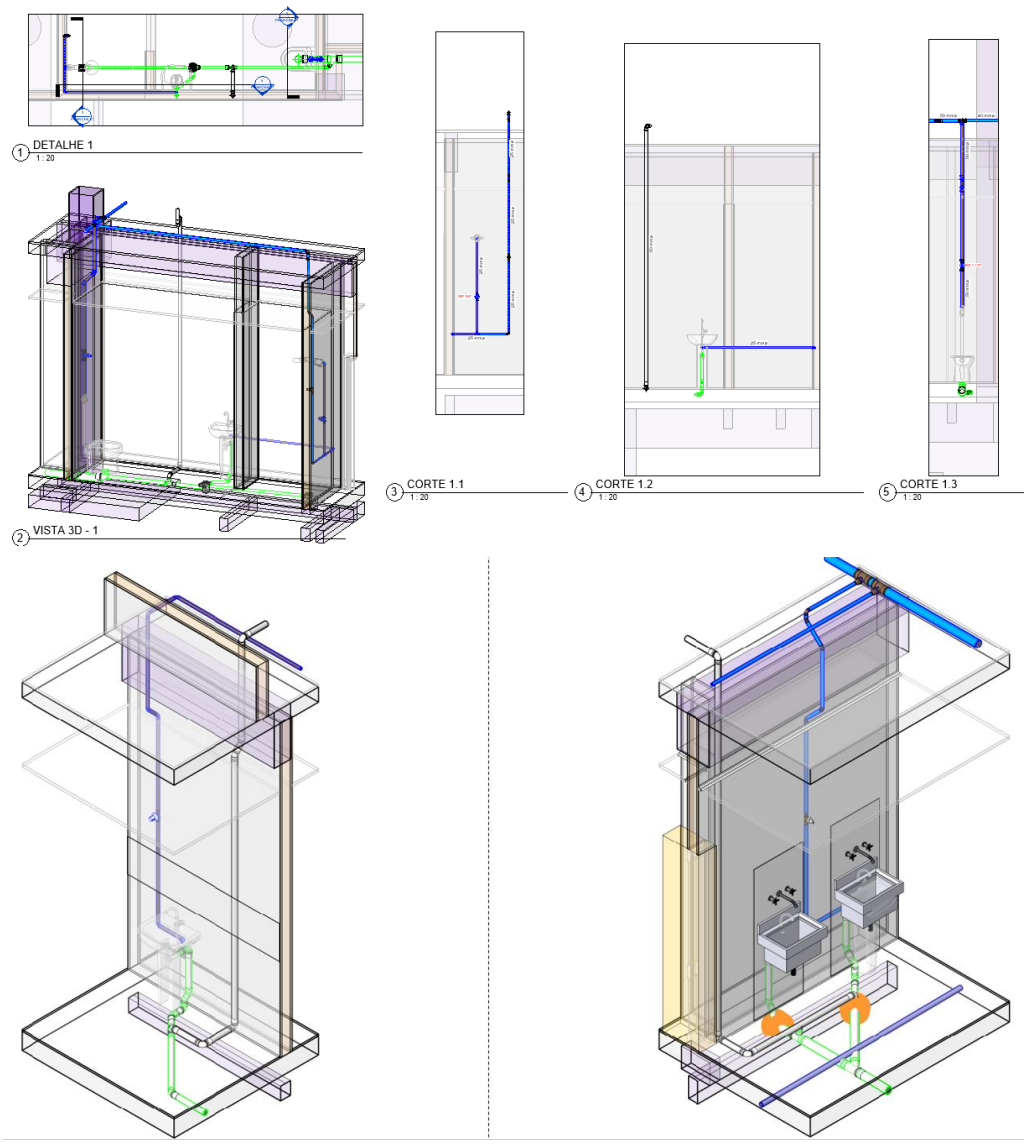
Outro ponto crítico foi a substituição de materiais, onde tubulações de água fria foram trocadas por materiais destinados a água quente sem respaldo normativo, o que resultaria em uma orçamentação irreal e desalinhada com as necessidades da obra. Situações assim são comuns em equipes com ampla experiência prática, mas com menor familiaridade com softwares de modelagem, ou em modeladores com pouca vivência em obra. O uso do BIM permitiu que o projetista identificasse essas questões com antecedência, garantindo uma execução mais eficiente e sem necessidade de ajustes posteriores, Figura 4. Essa detecção antecipada contribuiu para um melhor controle de custos e maior qualidade no projeto, especialmente relevante em obras públicas.

Figura 3: Fragmentos do projeto hidrossanitário desenvolvido em plataforma CAD – planta baixa e isométrico.



Fonte: Autores

Figura 4: Fragmento de projeto Hidrossanitário (compatibilizado) - Detalhe, Cortes e isométrico.



Fonte: Autores

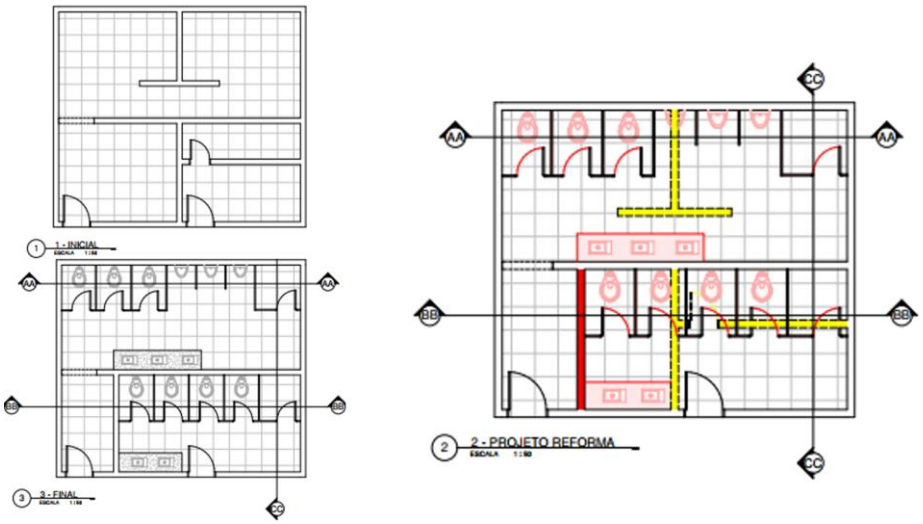
REFORMA DE BANHEIRO EM INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES COM MODELAGEM ARQUITETÔNICA E HIDROSSANITÁRIA EM BIM.

O terceiro exemplo envolve o desenvolvimento do projeto arquitetônico, Figuras 5 e 6, e o hidrossanitário, Figura 7, para a reforma de um banheiro em uma grande indústria de fertilizantes. O uso do BIM foi essencial para documentar detalhadamente as etapas da reforma, divididas em fases: inicial, reforma e final. Elementos em vermelho indicavam o que seria construído, e em amarelo, o que seria demolido, facilitando a visualização das áreas de intervenção.

A modelagem 3D proporcionou uma compreensão clara do projeto e melhorou a comunicação entre as equipes de projeto e execução. O processo de orçamentação também foi simplificado, permitindo quantificar com precisão os materiais a serem demolidos e construídos, o que garantiu um controle mais rigoroso dos custos e minimizou variações indesejadas durante a obra.

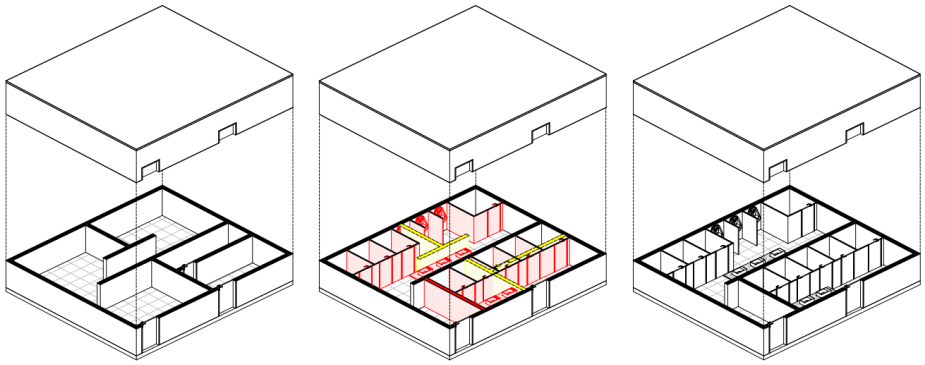
O projeto hidrossanitário, Figura 7, seguiu o mesmo rigor do arquitetônico, com plantas baixas, cortes e isométricos que detalharam o sistema, assegurando uma execução precisa e eficiente, com todos os envolvidos compreendendo claramente o que deveria ser feito.

Figura 5: Fragmentos do projeto arquitetônico de reforma - Plantas Baixa.



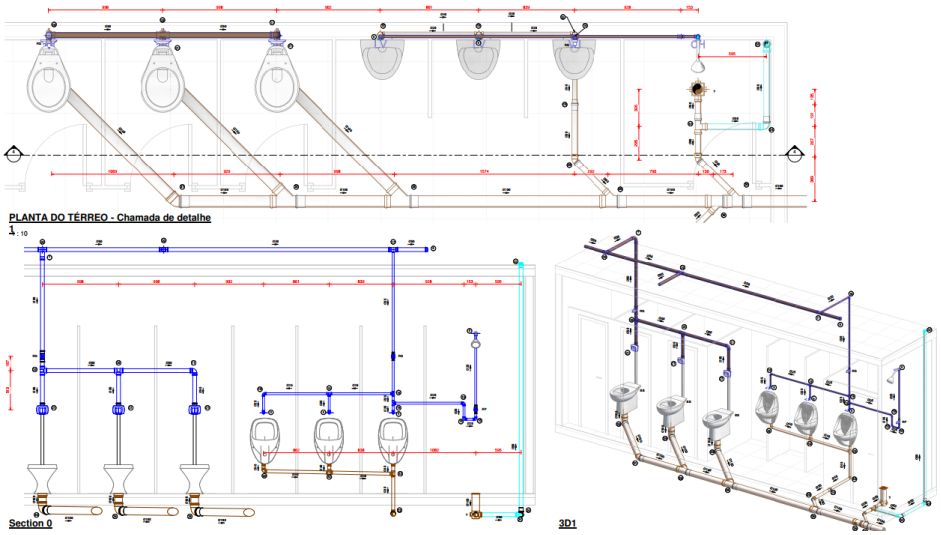
Fonte: Autores

Figura 6 - Fragmentos do projeto arquitetônico de reforma - Projeção 3D.



Fonte: Autores

Figura 7- Fragmento do projeto hidrossanitário de reforma - Chamada de detalhe, Corte, isométrico.



Fonte: Autores

CONCLUSÕES

A adoção do BIM nas pequenas e médias empresas (PMEs) de engenharia no Brasil enfrenta desafios que vão além da compra de softwares, como a falta de capacitação, incompatibilidades geracionais e resistência à mudança. Além disso, a alta rotatividade de profissionais especializados dificulta a formação de equipes comprometidas, aumentando os custos de treinamento.

Uma solução para esses desafios é a formação de projetistas técnicos, que, sem a necessidade de nível superior, possam dominar o BIM e assumir parte das atividades de compatibilização e documentação. A contratação de estagiários desde o início do curso, com capacitação em ferramentas BIM, também é uma estratégia vantajosa para formar profissionais preparados para o mercado. Esse perfil técnico e de estagiários capacitados liberaria engenheiros e arquitetos para se dedicarem a aspectos complexos de design e modelagem, gerando mais empregos e permitindo foco em análises aprofundadas. Instituições como o SENAI, com apoio de políticas públicas e incentivos governamentais, poderiam auxiliar nessa capacitação, promovendo uma cultura organizacional aberta à inovação.

O BIM oferece vantagens como a compatibilização de disciplinas, melhor comunicação e otimização de custos e prazos, permitindo que as PMEs participem de projetos maiores. A interoperabilidade possibilita ainda a associação de profissionais freelancers, permitindo que empresas colaborem com especialistas para resolver grandes desafios de forma flexível e eficiente. Para isso, é essencial investir em capacitação contínua, adaptar processos e criar ambientes que favoreçam essa integração. Com planejamento estratégico, investimento em pessoas e tecnologia, e apoio institucional, as PMEs podem maximizar os benefícios do BIM e melhorar sua competitividade no mercado.

REFERÊNCIAS

[1]. WILKINSON, S. J.; JUPP, J. Exploring the value of BIM for corporate real estate. Journal of Corporate Real Estate, v. 18, n. 4, p. 254-269, 2016.

[2]. Rodriguez, D., & Heineck, L. Compatibilização de projetos na construção civil. Revista Engenharia Civil, 7(4), 33-44, 2003.

[3]. Oliveira, P. H., Maciel, A. C. F., & Souza Junior, D. A. Comparativo entre metodologia tradicional 2D e BIM na detecção de incompatibilidades de projetos. IV Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação – SENGI, 2021.

[4]. Ferreira, V. E., Brito, L. R., & Borges, R. M. S. Diagnóstico BIM em estudo de caso: um correspondente entre o ensino e a prática. EneBIM 2023.

[5]. Coutinho, A. B., Moura, G. S., & Teixeira, E. K. C. Compatibilização de um projeto arquitetônico e hidrossanitário utilizando a metodologia BIM. Research, Society and Development, 10(2), e58610212924, 2021. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12924

[6]. Maia, H. C., Galvão, H. M., & Matias, N. T. Metodologia Building Information Modelling – BIM na perspectiva de profissionais de órgão público estadual. Revista Foco, 17(7), e5454, 2024. https://doi.org/10.54751/revistafoco.v17n7-113

[7]. Mazia, P. V. Planejamento de obras assistido por softwares BIM. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

[8]. Barros, A. S., & Luna, R. P. Análise do uso da metodologia Building Informations Modeling (BIM) nas prefeituras do Triângulo Crajubar/CE. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, 9(1), 118-132, 2024.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Design paramétrico e generativo na era BIM: a sede do BEEAH e o plano diretor de Kartal, de Zaha Hadid

Parametric and generative design in the BIM era: Zaha Hadid's BEEAH headquarters and Kartal masterplan

Pâmela de Oliveira Lopes | UFRJ | pamela.lopes@fau.ufrj.br| 0009-0009-3655-3161
Mônica Santos Salgado | UFRJ | monicassalgado@fau.ufrj.br| 0000-0003-4098-8335

DOI: 10.5281/zenodo.14477866

Resumo

O presente artigo é baseado em uma pesquisa de mestrado em andamento que busca analisar o impacto das tecnologias digitais na produção arquitetônica, com ênfase nos laureados pelo Prêmio Pritzker. A investigação sobre premiações se mostra relevante devido à sua capacidade de influenciar gostos e padrões, e o Pritzker, como uma das maiores honrarias na arquitetura, constitui uma base importante para examinar a produção arquitetônica contemporânea. O objetivo deste estudo é investigar a relação entre design paramétrico, design generativo e BIM atualmente, analisando como essas metodologias estão transformando a prática arquitetônica. A metodologia adotada é o estudo de caso, que analisa dois projetos de Zaha Hadid, uma das laureadas do Prêmio Pritzker mais influentes no uso de metodologias computacionais na arquitetura. Os projetos escolhidos são a Sede da BEEAH, nos Emirados Árabes Unidos, e o Plano Diretor de Kartal, na Turquia. A Sede da BEEAH, finalizada em 2022, foi projetada com diversas ferramentas computacionais e integra simulações de desempenho ambiental, sendo concebida para operar como um edifício net-zero. Inspirado nas dunas do deserto, seu design foi otimizado para minimizar o ganho de calor e maximizar a ventilação natural, utilizando energia de fontes renováveis, como a solar. Por outro lado, o Plano Diretor de Kartal utiliza o design generativo para criar uma malha urbana adaptativa, que responde às condições locais e promove a regeneração de áreas degradadas. Esses exemplos demonstram como o uso de tecnologias digitais, aliadas ao BIM, pode proporcionar uma integração eficiente entre forma e função, além de destacar as possibilidades que o design paramétrico e o design generativo oferecem aos arquitetos contemporâneos, como a otimização de soluções de projeto e a adaptação ao contexto social e ambiental. Apesar do falecimento de Zaha Hadid em 2016, seu trabalho pioneiro continua fundamental para a arquitetura, especialmente em relação às metodologias computacionais. Sua posição como "estrela da arquitetura" e a oportunidade de explorar essas tecnologias de forma extensiva há mais de uma década permitiram que ela estivesse na vanguarda de inovações que, desde então, têm se disseminado. Em 2024, sua obra ainda é uma referência essencial para estudos, pois muitos dos avanços que ela popularizou continuam influenciando a prática arquitetônica. A discussão final deste estudo entende que o design paramétrico e o design generativo podem permitir uma otimização dos projetos, promovendo uma adaptação mais sensível ao contexto social e ambiental. No entanto, o projeto automatizado e o uso de algoritmos para expandir as possibilidades de projeto ainda representam um desafio, especialmente no que se refere à aplicação correta dessas tecnologias. Concluindo que o equilíbrio entre inovação tecnológica, responsabilidade social e

sustentabilidade é crucial para maximizar os benefícios para a sociedade e garantir que a arquitetura responda adequadamente às demandas contemporâneas.

Palavras-chave: Design Paramétrico. Design Generativo. BIM (*Building Information Modeling*). Arquitetura Digital. Zaha Hadid.

Abstract

The present article is based on an ongoing master's research project that aims to analyze the impact of digital technologies on architectural production, with a focus on Pritzker Prize laureates. Research on awards is relevant due to its ability to shape tastes and standards, and the Pritzker, as one of the most prestigious honors in architecture, provides an essential foundation for examining contemporary architectural production. The objective of this study is to investigate the relationship between parametric design, generative design, and BIM in current times, analyzing how these methodologies are transforming architectural practice. The methodology adopted is a case study approach, analyzing two projects by Zaha Hadid, one of the most influential Pritzker Prize laureates in the use of computational methodologies in architecture. The chosen projects are the BEEAH Headquarters in the United Arab Emirates and the Kartal Master Plan in Turkey. The BEEAH Headquarters, completed in 2022, was designed using various computational tools and integrates environmental performance simulations, aiming to operate as a net-zero building. Inspired by desert dunes, its design was optimized to minimize heat gain and maximize natural ventilation, utilizing renewable energy sources such as solar power. On the other hand, the Kartal Master Plan employs generative design to create an adaptive urban grid that responds to local conditions and promotes the regeneration of degraded areas. These examples demonstrate how the use of digital technologies, combined with BIM, can provide efficient integration between form and function, as well as highlight the possibilities that parametric and generative design offer contemporary architects, such as optimized design solutions and adaptation to social and environmental contexts. Despite Zaha Hadid's passing in 2016, her pioneering work remains fundamental to architecture, especially concerning computational methodologies. Her status as an "architecture star" and the opportunity to explore these technologies extensively for over a decade positioned her at the forefront of innovations that have since become more widespread. In 2024, her work remains an essential reference for studies, as many of the advancements she popularized continue to influence architectural practice. The final discussion of this study considers that parametric and generative design can enable project optimization, promoting a more sensitive adaptation to social and environmental contexts. However, automated design and the use of algorithms to expand design possibilities still present a challenge, particularly in terms of the proper application of these technologies. The study concludes that balancing technological innovation, social responsibility, and sustainability is crucial to maximizing societal benefits and ensuring that architecture adequately responds to contemporary demands.

Keywords: Parametric Design. Generative Design. BIM (Building Information Modeling). Digital Architecture. Zaha Hadid.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a arquitetura tem sido impulsionada pelos avanços nas tecnologias digitais, que estão modificando a maneira de projetar, construir e interagir com o ambiente [1]. A agenda arquitetônica do século XXI deve incorporar, portanto, questões essenciais sobre seus impactos [2].

Este artigo deriva de uma pesquisa de mestrado em andamento que analisa o impacto das tecnologias digitais na produção arquitetônica, com ênfase nos laureados pelo Prêmio Pritzker. A análise de premiações é essencial, pois estas podem estabelecer e reforçar valores culturais, moldando gostos e padrões sociais [3]. Como uma das maiores honrarias da arquitetura, o Prêmio Pritzker oferece uma base rica para estudo, onde os laureados se tornam referências, podendo influenciar a disciplina e inspirar futuras gerações de profissionais.

No contexto das tecnologias digitais, este estudo tem como objetivo investigar a relação entre design paramétrico, design generativo e BIM, analisando como essas metodologias estão transformando a prática arquitetônica. A metodologia adotada é o estudo de caso, e, dentro do recorte do Prêmio Pritzker, a laureada selecionada foi Zaha Hadid, primeira mulher a receber o Prêmio e, até 2024, a

única ganhadora solo, destacada por sua contribuição significativa ao tema das tecnologias digitais em estudos relevantes. Dois de seus projetos foram escolhidos como objetos de análise: a Sede da BEEAH, nos Emirados Árabes Unidos, e o Plano Diretor de Kartal, na Turquia.

Embora Zaha Hadid tenha falecido em 2016, seu legado permanece uma referência na arquitetura digital. Este estudo examina algumas de suas realizações técnicas, bem como as implicações mais amplas das abordagens computacionais para a prática arquitetônica.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

DO CAD AO AAD

O Sketchpad foi desenvolvido no início de 1960 por Ivan Sutherland. Ele foi o primeiro programa CAD que permitiu a definição geométrica de objetos bidimensionais escaláveis, possibilitando operações como recortar, colar e redimensionar [4].

Embora as primeiras versões dos *softwares* CAD não fossem totalmente intuitivas, elas ofereciam um grau de precisão e controle maior que os desenhos feitos à mão [5].

Já nos anos 90, o computador passou a ser utilizado no projeto e na fabricação, substituindo as notações arquitetônicas tradicionais por scripts digitais [6].

Apesar dos sistemas CAD oferecerem vantagens de eficiência e precisão, eles são reconhecidos como um dos principais gargalos do design para fabricação digital, em especial para tecnologias de impressão 3D que permitem maior liberdade formal [7].

Nesse sentido, em 1980, com a crescente necessidade de lidar com a complexidade dos projetos de arquitetura, o algoritmo conhecido como *Algorithm Aided Design* (AAD) começou a ser incorporado ao processo de projeto, permitindo a criação de geometrias não convencionais e não lineares [8].

“Proposições recentes sugerem um deslocamento do uso de sistemas CAD (*Computer Aided Design*) em direção a práticas de AAD (*Algorithm Aided Design*)”[9]. Um algoritmo pode ser definido como uma sequência estruturada de instruções que, quando executadas, resolvem um problema ou realizam uma tarefa. Representa um dos primeiros avanços rumo ao desenvolvimento de processos automatizados, nos quais uma abordagem sistemática e lógica conduz a uma solução [1]. Um algoritmo pode ser comparado a uma receita de bolo: ao seguir todas as etapas e instruções corretamente, é possível reproduzir o mesmo resultado por quem tiver a receita.

As práticas AAD transformam a lógica de ‘pensar um objeto’ para ‘pensar em um campo de possibilidades’ [10]. Favorecendo a exploração de múltiplas opções de projeto, que são comandadas por modificações de parâmetros e valores de variáveis.

A transição do CAD para o projeto apoiado por algoritmos muda o foco dos profissionais, passando do desenho direto do edifício para a criação de processos ou algoritmos que projetam o edifício.

DESIGN PARAMÉTRICO E DESIGN GENERATIVO NA ERA BIM

A “Era BIM” representa o período atual de transformação digital na arquitetura, engenharia e construção, caracterizado pela disseminação do *Building Information Modeling* (BIM) e de metodologias e tecnologias emergentes correlatas [11].

O BIM pode ser entendido como um processo de projeto baseado no gerenciamento de informações da construção por meio de um modelo digital, com o objetivo de promover colaboração, integração, simulação e otimização em todas as fases do ciclo de vida do edifício, desde a concepção e construção até a operação [12].

O BIM integra tecnologias, processos e políticas que transformam resultados, relacionamentos e funções na indústria. Seus conceitos e ferramentas impulsionam mudanças revolucionárias e evolutivas em diversas escalas, desde indivíduos até mercados inteiros [13].

Com o avanço da construção inteligente, que integra dispositivos para aprimorar o conforto e a eficiência dos edifícios, espera-se que o BIM assuma um papel central e se torne predominante nesta indústria [14].

Práticas como o design paramétrico e generativo, possibilitam a exploração de formas inovadoras e racionalização de recursos. O BIM facilita essa convergência ao integrar informações de diferentes disciplinas em um modelo digital único, promovendo uma abordagem mais dinâmica e adaptável ao longo de todo o processo projetual [15].

O Design Paramétrico pode ser interpretado como um procedimento de trabalho que se constitui na relação entre elementos de um modelo. É mais como uma atitude mental que busca expressar e explorar relacionamentos do que como uma ferramenta específica de software [16].

Um aspecto chave do design paramétrico é a capacidade de capturar, editar e reproduzir o histórico do projeto, o que permite gerar variações e explorar novas possibilidades de forma dinâmica [17].

Luigi Morreti definiu uma “arquitetura paramétrica” como o estudo de sistemas que estabelece relações entre dimensões dependentes de parâmetros [18].

Trabalhar com premissas paramétricas, permite a ampliação das possibilidades formais - não se restringem às formas complexas - e da organização do projeto arquitetônico, manipulando relações e constituindo geometrias associativas para a solução de problemas [19].

Com o BIM, os arquitetos podem usar componentes paramétricos, que são elementos construtivos digitais ajustáveis por parâmetros. Isso está diretamente relacionado ao projeto automatizado, permitindo visualizar e ajustar soluções de forma eficiente.

Atualmente, *softwares* permitem gerenciar algoritmos e manipular grandes quantidades de informações, lidando com a complexidade dos projetos e sistemas em simulação digital. A assimilação do design paramétrico reflete o anseio por tecnologias digitais e a busca por rapidez e eficiência no projeto [20].

O termo "*Parametricism*" foi cunhado por Patrik Schumacher, arquiteto e parceiro de Zaha Hadid, para descrever um estilo arquitetônico baseado no uso de sistemas paramétricos. Onde o projeto é desenvolvido através de algoritmos que relacionam parâmetros a uma série de soluções formais, promovendo uma conexão entre forma, função e desempenho [21].

Embora estejam interligados, os termos “design paramétrico” e “parametricismo” não são exatamente sinônimos. O design paramétrico refere-se a um método de trabalho específico, enquanto o parametricismo é uma teoria que faz uso extensivo do design paramétrico e outras tecnologias digitais.

Por sua vez, o design generativo refere-se a processos nos quais a criação de formas arquitetônicas é conduzida por algoritmos, muitas vezes simulando princípios naturais de crescimento ou adaptação [22]. Ao contrário dos métodos tradicionais de projeto, nos quais o arquiteto controla diretamente o processo criativo, ele utiliza algoritmos computacionais para explorar um conjunto de possibilidades, criando soluções que podem ser otimizadas para diversos fatores, como estética, sustentabilidade e eficiência construtiva.

Esses algoritmos são programados para seguir certas regras e princípios, mas têm uma capacidade inerente de produzir resultados variados. Os processos generativos são frequentemente utilizados em áreas criativas para explorar possibilidades e criar projetos altamente personalizados [23].

Em uma entrevista de 2003 à revista Vitruvius, Patrik Schumacher revelou que, embora o ZHA tenha iniciado com técnicas tradicionais, como desenhos 2D e modelagem 3D, as metodologias computacionais logo se tornaram essenciais ao escritório, proporcionando soluções mais ágeis e precisas [24].

O design paramétrico e generativo integrado ao BIM otimiza projetos para edifícios inteligentes, como veremos a seguir, mas também enfrenta desafios, como a dependência de dados, limitações técnicas e resistência profissional.

O PLANO DIRETOR DE KARTAL E A SEDE DO BEEAH

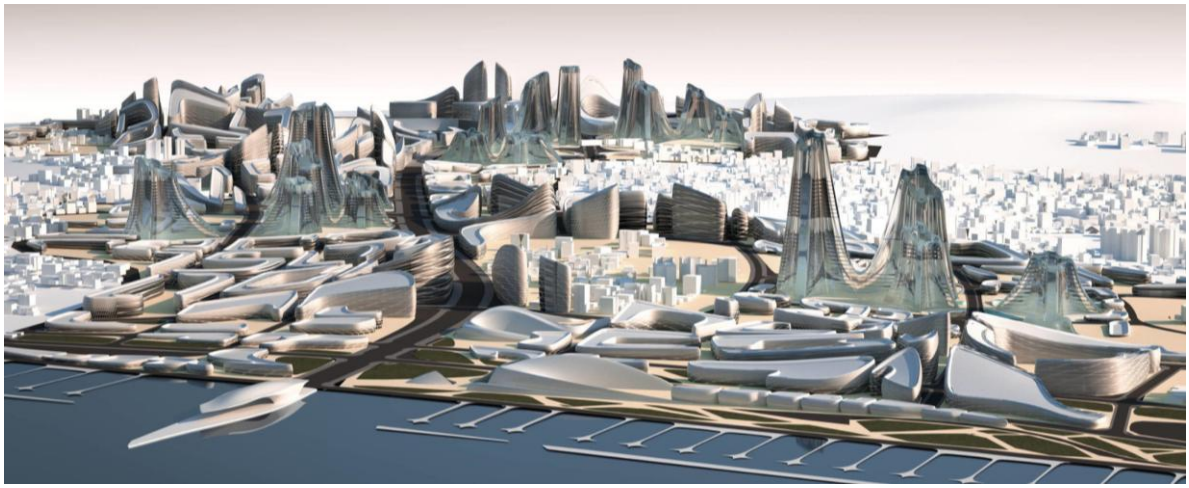
Para explorar o design paramétrico e generativo, foram selecionados dois projetos emblemáticos da arquiteta iraniana Zaha Hadid, que é uma referência na aplicação de tecnologias digitais e um dos nomes mais emblemáticos da arquitetura contemporânea. Conhecida como "*Queen of the Curve*" ("Rainha das Curvas"), ela revolucionou o campo com suas formas futuristas e orgânicas, utilizando extensivamente metodologias computacionais em projetos que, muitas vezes, só poderiam ser materializados com o suporte de tecnologias avançadas.[25].

O Plano Diretor de Kartal representa um dos exemplos mais claros do uso do design generativo em sua obra. Já a Sede da BEEAH se destaca entre os projetos paramétricos, por criar um edifício inteligente net-zero, que devido à sua recente construção (2022), ainda é uma obra pouco explorada nos estudos sobre o tema.

Kartal, um distrito a cerca de 25 km a sudeste do centro de Istambul, foi objeto de um projeto de requalificação urbana que venceu um concurso em 2006. A proposta visava transformar a área industrial obsoleta em um centro multifuncional, com funções cívicas, residenciais, comerciais e de transporte, revitalizando o distrito e integrando-o ao tecido urbano de Istambul. O masterplan previa espaços para emprego, moradia, educação e cultura, conectando vias rodoviárias, ferroviárias e marítimas para integrar a infraestrutura existente ao plano de transporte multimodal da cidade. O projeto é flexível, adaptando-se às diferentes necessidades dos subdistritos, e prioriza uma nova malha urbana fluida e interconectada [26].

A criação de uma malha adaptativa, é um exemplo claro do uso do design generativo, que se caracteriza pela capacidade de gerar soluções de projeto que respondem a múltiplos cenários. Nesse contexto, o design generativo permitiu que o plano diretor fosse flexível e adaptável às diversas necessidades dos diferentes subdistritos, levando em consideração fatores como topografia, fluxos de tráfego, e conexões com a infraestrutura existente. A abordagem possibilitou a geração de uma rede urbana que pode ser ajustável conforme as premissas de projeto, promovendo uma solução urbanística mais eficiente e sustentável. Ele foi desenvolvido em Autodesk Maya e conforme a Figura 01, o produto inclui a geometria exterior das edificações [27].

Figura 01: Plano Diretor de Kartal



Fonte: Site do Zaha Hadid Architects

O grupo BEEAH, pioneiro em sustentabilidade na região MENA, atua com foco em inovação e tecnologia, investindo em estratégias para alcançar o desperdício zero e garantir a gestão adequada de recursos essenciais, como ar e água [28].

A sede do grupo foi concebida como um exemplo de infraestrutura sustentável e inteligente em escala global. Com 9.000 m² de área construída em um terreno de 93.000 m², o edifício fica localizado nos Emirados Árabes Unidos. Como é possível verificar na Figura 02, é inspirado na paisagem do deserto de Sharjah, refletindo a geometria das dunas. Sua forma foi cuidadosamente orientada e esculpida para aproveitar ao máximo as condições climáticas locais, evocando as elevações de areia moldadas pelos ventos predominantes [29].

Figura 02: Sede da Bee'ah



Fonte: Site do Zaha Hadid Architects

O edifício é totalmente alimentado por energia renovável e é o primeiro edifício da região totalmente integrado com inteligência artificial, operando com tecnologias de nuvem e IA, desenvolvidas por Microsoft, Johnson Controls e Evoteq. Com recursos como espaços de trabalho digitais, gerenciamento inteligente e segurança automatizada. Além disso, está a caminho de obter a certificação *LEED* Platinum [28].

Segundo o ZHA, a sede foi projetada com tecnologias avançadas, como mapeamento tridimensional e modelagem 3D [29]. O design paramétrico foi essencial para criar uma geometria complexa inspirada nas dunas, atendendo a critérios rigorosos de sustentabilidade, incluindo soluções ambientais de alto desempenho, como o sistema de resfriamento passivo para conforto interno. Além disso, facilitou a implementação de soluções automatizadas, como o concierge virtual e espaços de reunião inteligentes conectados a uma plataforma digital para gerenciamento de tarefas. O sistema integrado do edifício ajusta automaticamente iluminação e climatização conforme as condições, garantindo conforto ideal e suporte a cenários de trabalho remoto e híbrido.

Em síntese, os projetos analisados ilustram o potencial do design paramétrico e generativo, onde eles não só viabilizam a criação de formas complexas, mas também permitem uma resposta precisa a contextos específicos e às demandas ambientais, em escalas que vão do edifício à cidade. Assim, destacam-se como abordagens digitais importantes na arquitetura contemporânea, promovendo flexibilidade e integração entre estética e funcionalidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na transição do CAD para o design orientado por algoritmos, torna-se essencial estudar os impactos das tecnologias digitais no ambiente construído. Os projetos analisados mostram como o design paramétrico e generativo, aliado ao BIM, podem promover uma abordagem colaborativa e integrada, ampliando tanto a liberdade formal quanto a capacidade de resposta às demandas socioambientais e à complexidade dos edifícios inteligentes. Essas tecnologias oferecem novas oportunidades e desafios, exigindo habilidades especializadas e o uso criterioso dos algoritmos. A arquitetura digital, portanto, deve não só explorar estéticas inovadoras, mas reafirmar seu compromisso com o bem-estar social e ambiental.

REFERÊNCIAS

[1] PERELMUTER, Guy. Futuro presente: o mundo movido à tecnologia. Companhia Editora Nacional, 2020.

[2] SYKES, A. Krista (Org.). O campo ampliado da arquitetura: Antologia teórica 1993-2009. Face Norte, volume 15. São Paulo, Cosac Naify, 2013.

[3] ENGLISH, F. James. The economy of prestige: Prizes, awards, and the circulation of cultural value. Cambridge; London: Harvard University Press, 2005.

[4] LLACH, Daniel Cardoso. Builders of the Vision: Software and the Imagination of Design. Routledge, 2015.

[5] RUSSELL, Peter; ELGER, Dietrich. The meaning of BIM. Proceedings of eCAADe 2008, p. 531-536, 2008.

[6] CARPO, Mario. Digitally Intelligent Architecture Has Little to Do with Computers (and Even Less with Their Intelligence). gta papers, n. 3, p. 112-120, 2019.

[7] LIPSON, Hod. Fabricated: The new world of 3D printing. John Wiley & Sons, Inc, 2013.

[8] TEDESCHI, A. AAD: Algorithms Aided Design. Parametric strategies using Grasshopper. Itália: Le Penseur, 2014.

[9] MINEIRO, Érico Franco; DE MAGALHÃES, Claudio Freitas. Design paramétrico e generativo: modos de explorar a complexidade. Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 14, n. 2, p. 6-16, 2019.

[10] REAS, C.; MCWILLIAMS, C. Form+Code in design, art and architecture. New York: Princeton Architectural Press, 2010.

[11] SOUSA, Alline Miller; FIGUEIREDO, Karoline Vieira. Avaliações de desempenho na Era BIM e os desafios da requalificação energética de edifícios. Boletim do Gerenciamento, [S.l.], v. 8, n. 8, p. 10-22, ago. 2019. ISSN 2595-6531. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/407>. Acesso em: 26 out. 2024.

[12] KATAKURA, Paula; GUEDES SOBRINHO, Joaquim Manoel. O processo do projeto arquitetônico. Editora Oficina de Textos. 1997

[13] SUCCAR, Bilal; KASSEM, Mohamad. Macro-BIM adoption: Conceptual structures. Automation in construction, v. 57, p. 64-79, 2015

[14] PANTELI, Christiana; KYLILI, Angeliki; STASIULIENE, Laura; SEDUIKYTE, Lina; FOKAIDES, Paris A. A framework for building overhang design using Building Information Modeling and life cycle assessment. Journal of Building Engineering, v. 20, p. 248-255, 2018. ISSN 2352-7102. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.07.022>. Acesso em: 4 jun. 2024.

[15] EASTMAN, Charles M. BIM handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2011.

[16] WOODBURY, Robert. Elements of parametric design. Oxford: Routledge, 2010.

[17] DAVIS, Daniel. A history of parametric. 2013. Disponível em: <https://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/>. Acesso em: 4 jun. 2024.

[18] BUCCI, Federico; MULAZZANI, Marco (orgs.). Luigi Moretti: works and writings. Nova Iorque: Princeton Architectural Press, 2000.

[19] KOLAREVIC, Branko; MALKAWI, Ali. Performative architecture. Routledge, 2005.

[20] SCHEEREN, R.; LIMA, D.L.C. O manifesto do Parametricismo: perspectivas acerca de um "novo estilo global" para o design da arquitetura e do urbanismo. V!RUS, São Carlos, n. 11, 2015. [online] Disponível em: . Acesso em: 10. set. 2024.

[21] SCHUMACHER, Patrik. The autopoiesis of architecture: a new framework for architecture. Vol. 1. John Wiley & Sons Limited, 2011.

[22] BENTLEY, P. J.; CORNE, D. W. An Introduction to Creative Evolutionary Systems. In: BENTLEY, P. J.; CORNE, D. W.; (EDS.). Creative Evolutionary Systems. London: Morgan Kaufman / Academic Press, 2002. p. 1-75.

[23] SANCHES, Leonardo. Parametrização e sistemas generativos como apoio à tomada de decisões em projetos de arquitetura aplicados à legislação urbana da cidade de Juiz de Fora. 2017.

[24] LIMA, B. A.; SCHRAMM, M. Patrik Schumacher. Entrevista, São Paulo, ano 04, n. 013.01, Vitruvius, jan. 2003 Disponível em: Revista Infinity. ISSN 2525-3204Vol.9/2024Página98<https://vitruvius.com.br/revistas/read/entrevista/04.013/3339?page=3>. Acesso em: 02 de junho de 2024.

[25] GAST, Klaus Robert; DE OLIVEIRA, Patrícia Dalmina; HENN, Ana Bell. A IMPORTÂNCIA DA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA NA ARQUITETURA: Um estudo a partir da obra de Zaha Hadid. Revista Infinity, v. 9, p. 74-98, 2024.

[26] ZAHA HADID ARCHITECTS. Kartal Masterplan. Disponível em: https://www.zaha-hadid.com/masterplans/kartal-pendik-masterplan/. Acesso em: 4 jun. 2024

[27] YENERIM, Duygu; YAN, Wei. BIM-based parametric modeling: A case study. In: Proceedings of the International Conference on Modeling, Simulation and Visualization Methods (MSV). The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp), 2011. p. 1.

[28] BEEAH GROUP. About Beeah Group. Disponível em: <https://www.beeahgroup.com/about-beeah-group/>. Acesso em: 4 jun. 2024.

[29] ZAHA HADID ARCHITECTS. Beeah Headquarters. Disponível em: https://www.zaha-hadid.com/architecture/beeah-headquarters-sharjah-uae/. Acesso em: 4 jun. 2024

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Digitalização de plantas de processo no saneamento

Water process plants digitalization

Fábio Yugo Fujii | JNS - Engenharia, Consultoria e Gerenciamento | fujii@jnsecg.com.br

Bruno Baptista Giorgis Piccini | JNS - Engenharia, Consultoria e Gerenciamento | bruno@jnsecg.com.br

Eugênio Fonseca Barbosa | JNS - Engenharia, Consultoria e Gerenciamento | eugenio@jnsecg.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14477896

Resumo

Os sistemas que se integram para compor uma planta de processo no setor do saneamento ou de quaisquer outros setores que possuem estações de tratamento de água, esgotos, efluentes industriais específicos ou tratamentos avançados para produção de reuso e outros recursos têm grande diversidade de características constitutivas e graus de complexidade. A abrangência compreende instalações civis, tubulações, equipamentos, sistemas elétricos e de automação, infraestrutura superficial e enterrada. Assim como a modelagem BIM utilizada em projetos e construção desses sistemas é desafiadora, pelos mesmos motivos, a digitalização desses tipos de ativos quando existentes também o é. Esse artigo tem o objetivo de apresentar abordagens e soluções para fluxos de trabalho desde a captura de realidade até a modelagem BIM com atenção às particularidades desses sistemas. Também serão discutidas as variações de nível de necessidade de informação requeridos em variações de fluxos de trabalho em função dos usos previstos para a informação sistematizada nos modelos. A primeira etapa da metodologia é o levantamento e análise das principais características e requisitos de levantamentos digitais, modelagem e interoperabilidade necessários para atendimento adequado a usos como cadastro e gestão de ativos, elaboração de projetos de ampliações e renovação, suporte à manutenção e operação. Ainda na primeira etapa procedimentos de "Scan to BIM" são apresentados e discutidos os potenciais de evolução de tecnologias para o aprimoramento de automações e as atividades de gestão do processo de modelagem, colaboração e controle de qualidade são descritas e comparadas com as práticas de elaboração de projetos. Numa etapa seguinte são descritos e analisados trabalhos de modelagem *As Is* de plantas de grande porte, com identificação de técnicas e métodos recomendados, gargalos e pontos de atenção para o planejamento, execução, compartilhamento e fiscalização dos serviços. Os papéis de executor e analista devem ser bem definidos para correta compreensão da dinâmica eficaz para evolução e sucesso do trabalho. Dentre os resultados obtidos se destacam o salto de nível de colaboração entre as equipes que fizeram uso da base de ativos digitalizados, ganho de maturidade em entendimento da importância e valor da utilização de modelos ao longo de todo o ciclo de vida do ativo, numa ampliação importante da compreensão dos benefícios para além da fase de projeto e construção, efetivamente interiorizando o raciocínio de fechamento do ciclo de vida. A introdução do conceito de ativo digital para suporte aos processos de negócio deverá promover expansão mais acelerada do seu uso em proprietários de ativos do saneamento, com ampliação em termos de abrangência das instalações e usos voltados para a fase de operação, a partir da percepção que o incremento a ser realizado para obtenção de benefícios adicionais é muitas vezes marginal, gerando grande impacto na eficiência operacional, qualidade de serviço, velocidade de progressão no atendimento das populações ainda não cobertas, confiabilidade da capacidade de proteção dos recursos naturais e de garantia de segurança hídrica, tudo isso por meio da melhoria da gestão da informação dos ativos.

Palavras-chave: BIM. Scan to BIM. Saneamento. Estações de tratamento de esgoto. Captura de realidade.

Abstract

This paper aims to present approaches and solutions for workflows that span from reality capture to BIM modeling, specifically tailored to meet the unique requirements and complexities found within systems in the water, wastewater and other sectors that rely on intricate process plants, such as facilities for water and sewage treatment, industrial effluent processing, and advanced treatments aimed at resource recovery and water reuse. These types of systems are highly diverse, integrating civil facilities, piping, equipment for various processing stages, electrical and automation systems, as well as a mixture of surface and underground infrastructures. The paper addresses the challenges and nuances involved in BIM modeling and digitization processes for existing assets, acknowledging the complexities in incorporating comprehensive, multi-faceted data. The first part of the methodology involves identifying key characteristics and technical requirements necessary for executing digital surveys, BIM modeling, and ensuring interoperability to support an array of applications, such as asset registration and management, design for expansions and renovations, and maintenance and operational support. Additionally, within this phase, "Scan to BIM" procedures are presented, assessing the potential of current technologies for process enhancement. In this regard, advanced automation techniques, collaborative strategies, and quality control methods are examined and compared to conventional project development practices, aiming to offer streamlined methods to tackle common challenges in sanitation and related sectors. The next phase provides a detailed description and analysis of "As Is" modeling for large-scale facilities, specifically investigating techniques and recommended methods, workflow bottlenecks, and critical points for effective planning, execution, data sharing, and quality control. A clear distinction between the roles of executors and analysts is emphasized, facilitating an effective understanding of the dynamics required to advance and ensure project success. Among the outcomes achieved, significant improvements in cross-team collaboration stand out, especially among teams leveraging digital assets, as well as enhanced maturity in recognizing the long-term value of BIM models across the asset lifecycle. This broader understanding has expanded beyond just design and construction, reinforcing the lifecycle completion rationale. The introduction of digital assets is poised to support business processes, which is anticipated to promote wider adoption by asset owners within the sanitation industry. The potential for operational improvements is particularly compelling, as expanding digital asset applications for operational use can yield considerable benefits at minimal incremental cost. This evolution is expected to generate substantial impacts in areas like operational efficiency, service quality, faster progress in extending services to underserved populations, and enhancing the reliability of natural resource conservation and water security. This progress is primarily achieved through a more effective information management framework for asset management, which strengthens data-driven decisions and strategic planning in sanitation and related sectors, thereby facilitating better governance and sustainability of resources over the asset lifecycle.

Keywords: BIM. Scan to BIM. Sanitation. Wastewater treatment plants. Reality capture.

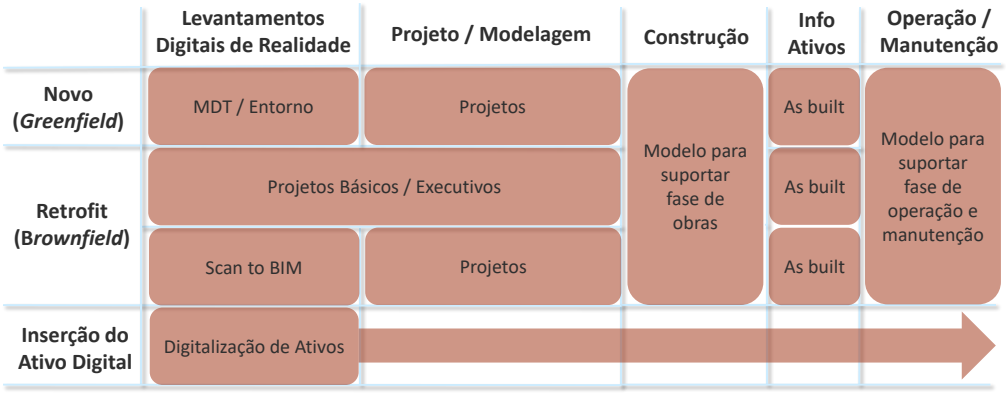
INTRODUÇÃO

O setor de saneamento enfrenta desafios de melhor gestão das informações de seus ativos e demandas crescentes de renovação da infraestrutura existente. Seja para melhoria ou atualização das bases cadastrais para aumento de eficiência no controle patrimonial e regulatório ou para garantia de boa qualidade de projetos de retrofit e renovação de sistemas, a modelagem das condições existentes dos ativos é uma prática que traz níveis de qualidade e eficiência que podem mudar os padrões de viabilidade de planos e investimentos. Uma das maiores dificuldades frequentemente encontradas é a deficiência e, muitas vezes, ausência de cadastros e documentação *as built*. Assim, uma modelagem com base em documentos existente se torna inviável ou limitada às informações deficientes disponíveis. Nesses casos uma solução é a adoção de fluxos de trabalho mais abrangentes, incluindo captura de realidade com o uso de levantamentos digitais associada à modelagem BIM e soluções de automação e coordenação de modelos ajustados para essa finalidade.

No ciclo de vida de ativos, as informações modeladas segundo metodologia BIM, padronizadas e estruturadas de acordo com as necessidades para os processos de negócio de cada proprietários podem ter variadas vias de criação e entrada. A Figura 1 a seguir mostra, as variações de modelagem

cadastral ou de projetos de reforma/retrofit, além de projetos que já são concebidos com base em modelagem BIM.

Figura 1: Vias de entrada de modelagem BIM num modelo de informação de ativos



Fonte: autoria própria, 2024.

PROCESSOS DE DIGITALIZAÇÃO

A tecnologia de captura da realidade incorpora um conjunto de dispositivos e processos que coletam condições de um objeto físico ou espaço (Niles *et al.*, 2022). Os princípios podem incluir escaneamento a laser ou restituição fotogramétrica, de forma a recriar geometrias digitais que replicam as feições físicas reais.

Algumas definições mais básicas:

- A varredura a laser é o processo de gerar medições precisas com um feixe de laser. Arquivos de varredura a laser podem ser combinados para criar uma nuvem de pontos;
- Nuvens de pontos combinam vários arquivos de varredura a laser para descrever condições existentes de um espaço ou objetos. Eles assumem a forma de uma constelação de pontos no espaço 3D, delineando a geometria da estrutura escaneada. Comumente, a nuvem de forma é colorida para contexto adicional. Ela pode ser importada para software de design, eliminando a necessidade de medir e modelar de maneiras tradicionais;
- Malha poligonal (*poly mesh*) é uma coleção de vértices, arestas e faces que definem a forma da superfície de um objeto poliédrico. Ela simplifica a renderização, como em um modelo de estrutura de arame. As faces geralmente consistem em triângulos (malha triangular), quadriláteros ou outros polígonos convexos simples.

A modelagem de condições existentes a que se refere esse trabalho é a criação do ativo virtual a partir de informações disponíveis e captura de realidade em fluxos de trabalhos conhecidos como “scan to BIM”, para obtenção de modelos *As is*, assim como documentação 2D e não gráfica, se desejados, conforme definições de usos BIM a serem previstos em cada trabalho.

A tradução de geometrias em nuvens de pontos para modelos BIM é realizada por meio de um conjunto de técnicas. Os milhões de pontos definidos pelas varreduras compõem formas reconhecíveis de forma automática ou por interpretação manual ao serem inseridas em softwares de modelagem autoral BIM que suportem esse formato de informação. A Figura 2 mostra processo de modelagem de tubulação a partir de extração de geometria de forma automática.

Figura 2: Extração de geometria de tubulação em software especializado.



Fonte: autoria própria, 2024.

Assim como as estruturas localizadas, aparentes, também há interesse em modelagem das redes de drenagem, interligações de processos, galerias, envelopes de dutos de elétrica e automação e demais redes de utilidades localizadas no subsolo. Para complemento e confirmação das informações cadastrais são utilizadas tecnologias de detecção como o georadar e detecção eletromagnética.

ESPECIFICIDADES DO SANEAMENTO

A complexidade de modelagem de plantas de processo no saneamento se reflete no processo de digitalização. A demanda por práticas de interoperabilidade bem resolvidas e com atenção especial aos pontos fortes ou limitações de modelagem de cada software.

O georreferenciamento e definição de um sistema estruturado de modelos, bem como a definição da subdivisão lógica dos modelos, passos essenciais no planejamento de execução BIM de quaisquer projetos devem, da mesma forma, ser realizados antes do início do plano de serviços de campo. A correspondência de terminologias, recortes espaciais e requisitos de qualidade dos levantamentos determinam a organização e produtividade.

OBJETIVOS

Esse artigo tem o objetivo de apresentar abordagens e soluções para fluxos desde a captura de realidade até a modelagem BIM com atenção às particularidades desses sistemas. Também serão discutidas as variações de nível de necessidade de informação requeridos em variações de fluxos de trabalho em função dos usos previstos para a informação sistematizada nos modelos.

METODOLOGIA

REQUISITOS

Em função dos usos pretendidos para os modelos *As is*, as características e requisitos de qualidade de levantamentos digitais e modelagem de informação são definidos. Seja para cadastro visando a gestão de ativos ou elaboração de projetos de ampliações e renovação.

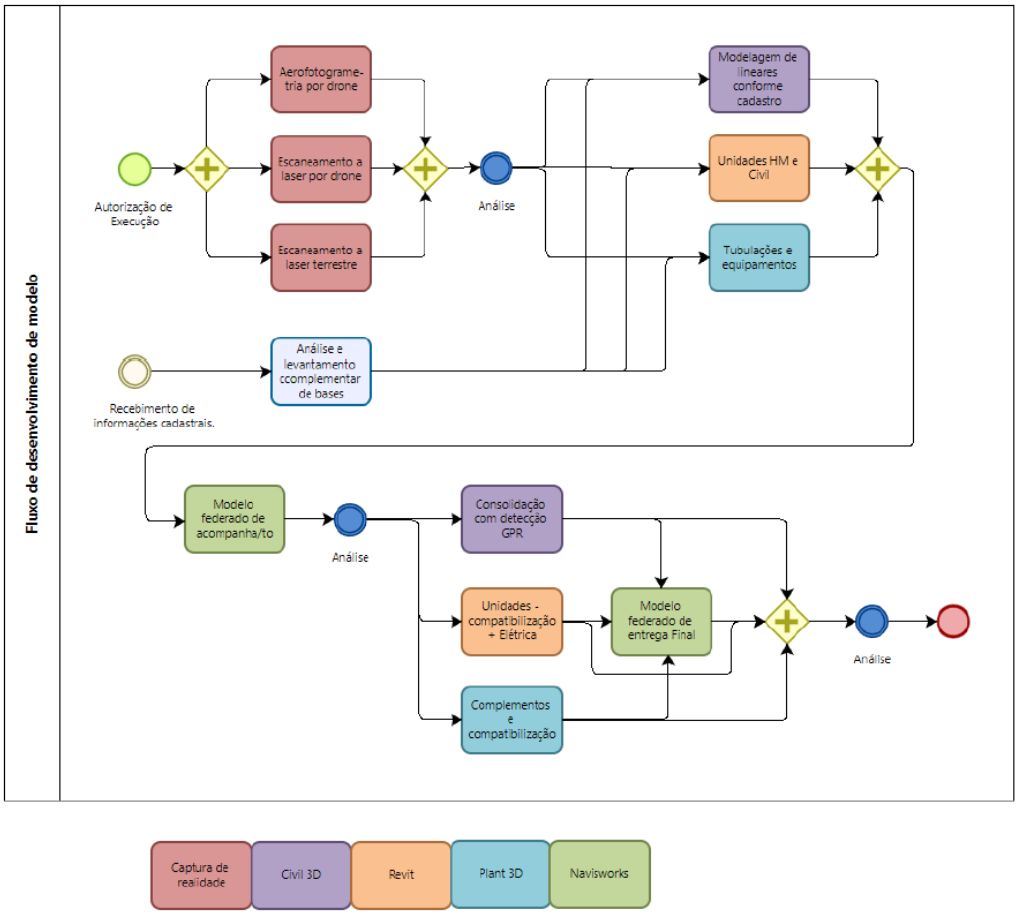
Nos casos em que o contratante possui padrões de formato de informações a serem populadas nos modelos e template a serem utilizados o trabalho dimensiona as atividades necessárias para o levantamento e preenchimento desses conjuntos específicos de dados.

O nível de necessidade de informação também varia muito em função do uso a ser empregado, especialmente se após a modelagem será dada continuidade à elaboração de projetos. Nesses casos, as informações devem permitir usos como compatibilização de sistemas, produção de saídas gráficas, avaliações de construtibilidade, levantamentos de demolições e desmontagens, e demais usos relacionados a projeto. Da mesma forma, quando se objetiva a gestão de ativos, suporte a manutenção e operação, as informações podem ter requisitos mais simplificados em termos de geometria mas a massa de informações associada é mais desenvolvida e de formatos variados.

EXECUÇÃO

A seguir, são detalhadas as principais fases da metodologia analisada, desde o planejamento inicial até a modelagem final. Na Figura 3 é apresentado o fluxo de trabalho geral.

Figura 3: Fluxo de Levantamentos e Desenvolvimento de Modelos.



Fonte: autoria própria, 2023.

Há um planejamento inicial que envolve a identificação das necessidades específicas de cada planta e a definição de um planejamento detalhado. Este planejamento considerou aspectos como:

- Definição de áreas de escaneamento e qualidade necessária;
- Estabelecimento de Pontos de Controle;

- BEP: Plano de Execução BIM documentando em detalhes de que forma as diretrizes iniciais requeridas foram traduzidas em procedimentos e definições e particularidades do escopo.

Em seguida, deve ser realizada a coleta de dados cadastrais existentes, que dão condições de melhor estruturação e planejamento do trabalho, assim como realização de pré-modelagens.

Os levantamentos digitais para captura de realidade envolvem:

- Topografia: Serviços topográficos convencionais são conduzidos para o estabelecimento de pontos de apoio distribuídos ao longo do terreno, definidos em função dos levantamentos a serem realizados;
- Aerofotogrametria e Laser Aéreo: Drones equipados com câmeras de alta resolução e sensores LiDAR (*Light Detection and Ranging*) são utilizados para capturar imagens aéreas e dados de elevação das áreas. A aerofotogrametria permite a criação de ortofotos detalhadas, enquanto o laser aéreo fornece dados tridimensionais precisos da topografia e das estruturas que também é utilizado como instrumento de verificação global de qualidade do registro dos escaneamentos a com laser terrestre e demais informações cadastrais;
- Detecção por Georadar (GPR): O georadar (*Ground Penetrating Radar* - GPR), assim como detecção eletromagnética, são utilizados para detectar e mapear a infraestrutura enterrada, como tubulações e cabos;
- Escaneamento Laser Terrestre: utilizando scanners a laser de alta precisão posicionados em uma rede de pontos (cenas) cobrindo toda a extensão das áreas a serem levantadas com precisão, internas ou externas.

Integração de Dados de levantamento: os dados coletados das diferentes tecnologias de levantamento são então integrados para formar uma base de dados georreferenciada consistente.

A partir da base de dados construída a etapa de modelagem BIM envolve a criação de modelos tridimensionais detalhados. São listadas a seguir opções de modelagem scan to BIM em função das características de ferramentas utilizadas para uma plena abrangência de estações de tratamento de esgotos, tendo como referência o fornecedor Autodesk, mas tendo a mesma analogia possível para outros fornecedores:

- Unidades civis de processo (reatores biológicos, decantadores, outras estruturas de suportação, edificações – Autodesk Revit: modelagem utilizando nuvens de pontos como referência a partir de vistas em corte e projeções ortogonais, possibilitando alinhamento preciso. Ver Figura 4;
- Tubulações, equipamentos – AutoCAD Plant 3D: ajuste de alinhamento de roteamentos de tubulações, suportes e equipamentos diretamente sobre nuvens de pontos inseridas no ambiente de modelagem, extração de formas simples de forma automática por recurso do software e integração com softwares especializados de extração de geometrias através de padronização de especificações catálogos;
- Instalações elétricas – bandejamento: leitos, eletrocalhas e estruturas metálicas – Autodesk Revit: integração com softwares especializados de extração de geometrias através de padronização de especificações catálogos.

Com base nos dados levantados foram criados sistemas de modelos BIM das ETEs. Isso envolve a representação virtual de tanques, tubulações, equipamentos de tratamento, sistemas elétricos e mecânicos, e outros elementos relevantes de acordo com o nível de necessidade de informação especificado. Foram previstas as seguintes atividades, correspondentes às indicadas de forma contínua no cronograma:

- Setup e criação do sistema estruturado de modelos – atenção para as boas práticas de estruturação de modelos de plantas de grande porte sejam garantidas oferecendo condições de atender aos objetivos posteriores;
- Modelagem de infraestrutura - Civil 3D - implantação geral e redes externas;
- Coordenação de modelagem, georreferenciamento, verificação de qualidade, gestão e preparo dos levantamentos de captura de realidade;
- Modelagem civil - estruturas, fundações, edificações, contenções;

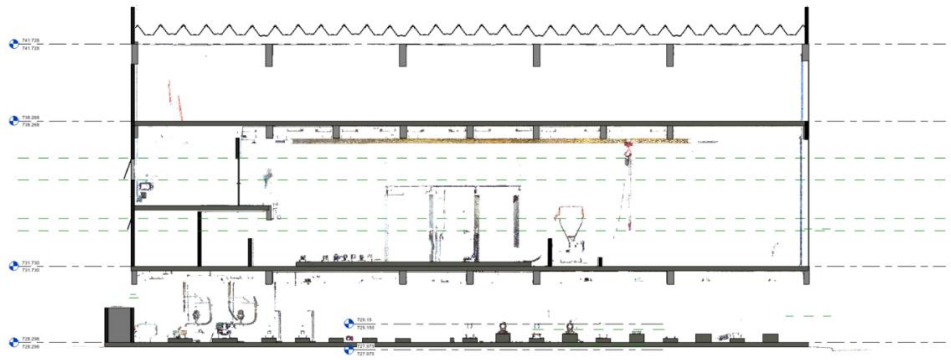
- Modelagem hidromecânica;
- Modelagem de elétrica e automação;

O mesmo fluxo de desenvolvimento se aplica igualmente para todas as estações e para cada unidade modelada. Ressaltam-se alguns aspectos:

As atividades de modelagem feitas por sistemas diferentes (Civil 3D, Revit e Plant 3D) podem ser realizadas de maneira concomitante, como representado, por se tratar de um processo de modelagem do existente, sem a evolução metodológica de definições entre disciplinas de forma sequenciada como acontece em projetos. A coordenação de modelos é realizada para facilitar a identificação de inconsistências de modelagem, mas há independência entre as disciplinas porque a definição vem dos dados de captura de realidade ou dos As Built.

A segunda rodada de compatibilização acontece com as informações agregadas pelos serviços de detecção de tubulações enterradas, e coordenação entre todas as disciplinas incluindo esclarecimentos complementares dos serviços de captura de realidade e inspeção em campo.

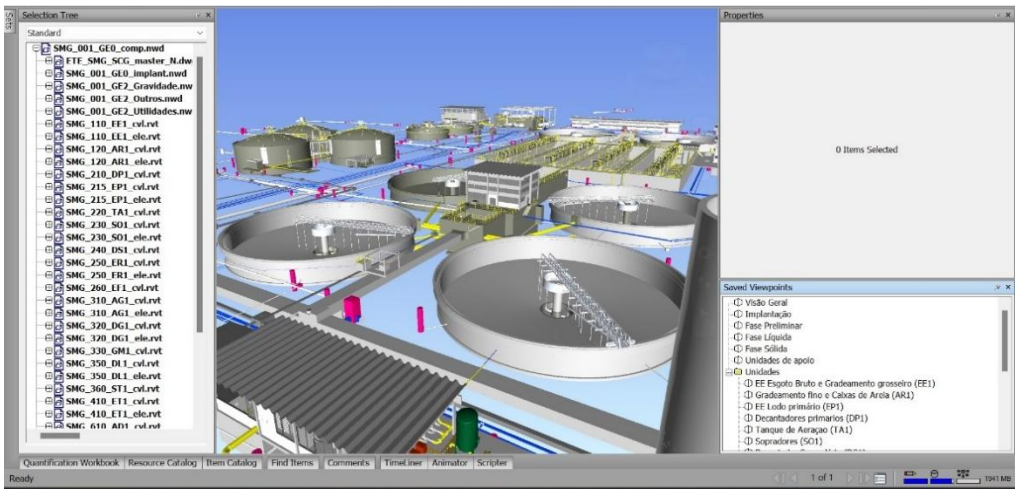
Figura 4 – Comparação com Dados Originais - Civil



Fonte: autores, 2024.

Os modelos desenvolvidos devem ser continuamente avaliados através de fluxos também usuais de coordenação de modelos, com uso de modelos federados como o ilustrado pela Figura 5.

Figura 5: Modelo Federado de Coordenação.



Fonte: autoria própria, 2024.

ANÁLISE DE APLICAÇÕES

A seguir são apresentadas considerações sobre trabalhos de modelagem *As Is* de plantas de grande porte da Sabesp, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, um proprietário e operador de ativos. A aplicação das tecnologias de levantamento digital de realidade e modelagem BIM resultou em uma série de resultados significativos e tangíveis.

Como resultado devem ser mencionados:

- Consolidação dos conceitos de modelagem de instalação complexa de saneamento existente, considerando uma solução integrada de modelagem com a combinação de ferramentas específicas em função do tipo de instalação (estruturas civis, infraestrutura enterrada, sistemas hidráulico-mecânicos e elétricos com características industriais) típica de plantas de processo como estações de tratamento de esgotos. Foram utilizados os softwares Revit para as estruturas civis e instalações elétricas, Civil 3D para as redes externas, AutoCAD Plant 3D para os sistemas hidromecânicos, Navisworks para a composição dos modelos federados e coordenação;
- Avanços em critérios de planejamento de grandes projetos de modelagem no que se refere às definições e programação das atividades de levantamento de campo de forma a entregar as informações alinhadas com as metodologias de modelagem previstas. Essas atividades chamadas de captura de realidade ou levantamento digital de realidade nesse contexto foram compostas por escaneamentos a laser terrestre e por drone, aerofotogrametria por drone e georadar;
- A combinação de tecnologias e processos utilizada propôs bases para a criação de um fluxo de trabalho abrangente e flexível que pode ser utilizado de acordo com as necessidades de cada empreendimento, sem renunciar à obtenção de modelos digitais com qualidade das instalações existentes.

O desenvolvimento é significativo para o setor por se tratar de um grande desafio o cadastro e levantamentos *As Is* dos ativos existentes, considerando-se ainda a necessidade de alinhamento com uma metodologia de projeto para grande parte dos casos no cenário atual do Brasil em que deve haver necessidade de reformas e ampliações.

GESTÃO E CONTROLE DE QUALIDADE

Os papéis de gestão da execução e de análise de qualidade devem ser bem definidos para correta compreensão da dinâmica eficaz para evolução e sucesso do trabalho. Dada a grande quantidade de modelos foi necessário grande controle de produção e gestão do acompanhamento, considerando também as soluções de comunicação do ambiente colaborativo adotado. A análise de qualidade foi realizada diretamente sobre os modelos BIM.

Os modelos desenvolvidos passaram por um rigoroso processo de verificação e validação, que incluiu:

- Comparação com Dados Originais: Os modelos foram comparados com os dados de levantamento para garantir a precisão geométrica e a consistência das informações.
- Análise de Qualidade: As equipes de modelagem e gestão do Contratante realizaram revisões detalhadas dos modelos para identificar e corrigir quaisquer inconsistências ou erros.
- Validação com Equipes Operacionais: Os modelos foram validados com a colaboração das equipes operacionais das ETEs, garantindo que todas as informações críticas estavam corretamente representadas.

RESULTADOS

Dentre os resultados obtidos se destacam:

- Salto de nível de colaboração entre as equipes que fizeram uso da base de ativos digitalizados;
- Ganho de maturidade em entendimento da importância e valor da utilização de modelos ao longo de todo o ciclo de vida do ativo, numa ampliação importante da compreensão dos benefícios para além da fase de projeto e construção, efetivamente interiorizando o raciocínio de fechamento do ciclo de vida.

A introdução do conceito de ativo digital para suporte aos processos de negócio deverá promover expansão mais acelerada do seu uso em proprietários de ativos do saneamento, com ampliação em termos de abrangência das instalações e usos voltados para a fase de operação, a partir da percepção que o incremento a ser realizado para obtenção de benefícios adicionais é muitas vezes marginal, gerando grande impacto na eficiência operacional, qualidade de serviço, velocidade de progressão no atendimento das populações ainda não cobertas, confiabilidade da capacidade de proteção dos recursos naturais e de garantia de segurança hídrica, tudo isso por meio da melhoria da gestão da informação dos ativos.

REFERÊNCIAS

[1] NILES, J., MCCLURE, S., & POULIQUEN, D. Reality capture: A digital twin foundation. Digital Twin Consortium, 2022.

[2] FUJII, F.Y., 2016. Projeto da ETE Perus – Soluções Técnicas para a Concepção Otimizada do Sistema e Processo de Projeto por Modelagem (BIM). Associação dos Engenheiros da Sabesp, 27º Encontro Técnico AESABESP. São Paulo, Brasil. Agosto, 2016.

[3] FUJII, F.Y., 2016. BIM no Saneamento – Processo de Projeto por Modelagem da Construção para Estações de Tratamento de Efluentes Aplicado em Caso Real de Sistema MBR. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 17º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - SILUBESA. Santa Catarina, Brasil. Junho, 2016.

[4] MANZIONE, L. Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM. 2013. 325 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

[5] EASTMAN, CHUCK, *et al.* BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. John Wiley & Sons, 2018.

[6] SUCCAR, BILAL. Building Information Modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction, vol. 18, no. 3, 2009, pp. 357-375.

[7] TEICHOLZ, PAUL. BIM for facility managers. McGraw-Hill Professional, 2010.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Elementos paramétricos de pontes em vigas a partir da interpretação de geometria Brep

Parametric girder bridge elements from the Brep geometry interpretation

Guilherme Palla Teixeira | Universidade Federal de Viçosa (UFV) | guilherme.palla@ufv.br
José Carlos Lopes Ribeiro | Universidade Federal de Viçosa (UFV) | jcarlos.ribeiro@ufv.br
Kléos Magalhães Lenz César Jr | Universidade Federal de Viçosa (UFV) | kleos@ufv.br
Diôgo Silva de Oliveira | Universidade Federal de Viçosa (UFV) | diogooliveira@ufv.br
José Maria Franco de Carvalho | Universidade Federal de Viçosa (UFV) | josemaria.carvalho@ufv.br
Letícia Negris Gardioli | Universidade Federal de Viçosa (UFV) | leticia.gardioli@ufv.br
Lucas Andrade Nunes | Universidade Federal de Viçosa (UFV) | lucas.a.nunes@ufv.br

DOI: 10.5281/zenodo.14477948

Resumo

A troca de dados entre uma plataforma BIM (*Building Information Modeling*) e um software de análise estrutural pode ser efetuada utilizando o padrão aberto IFC (*Industry Foundation Classes*). No entanto, perdas de informações podem ocorrer durante a troca de dados, geralmente resultando em retrabalho por parte dos usuários e problemas na colaboração entre arquitetos e engenheiros. Alguns softwares de análise estrutural importam os dados IFC com informações não parametrizadas e apresentam erros na interpretação das informações. Além disso, representações geométricas ineficientes para fins de análise estrutural podem ser exportadas, como é o caso de geometria Brep (*Boundary representation*), o que exige um maior esforço na implementação de uma ferramenta de interpretação de dados IFC. Interpretar informações geométricas explícitas para informações paramétricas, com o objetivo de realizar análise estrutural, é um dos principais desafios para os implementadores de importação de dados IFC, já que um sólido pode ter sua geometria representada de várias maneiras. Um exemplo comum é a exportação de dados IFC relacionados à geometria de elementos de pontes, que geralmente possuem elementos lineares com geometria complexa, porém com baixo nível semântico no que diz respeito à sua utilização para análise estrutural. Algumas representações geométricas são exportadas sem informações relacionadas à seção transversal, direções longitudinal, vertical ou transversal, posicionamento da seção no espaço, número de seções transversais para os elementos com variações de seções transversais ao longo do comprimento, entre outras informações. Quando a troca de dados IFC está comprometida, essas informações geométricas tornam-se fundamentais para o processo de modelagem estrutural. Dessa forma, propõe-se neste trabalho uma parametrização automática da geometria de elementos de ponte de concreto em vigas, interpretando dados IFC4x3 referentes à geometria explícita Brep em dados IFC de geometria implícita e dados paramétricos exportados para leitura. Optou-se pelo Revit (v. 2025) para exportar os dados IFC4x3, por ser uma plataforma BIM largamente utilizada. Longarinas e travessas foram os elementos lineares escolhidos para a interpretação da representação geométrica IFC, devido à possibilidade de variação da seção transversal ao longo do comprimento desses elementos. Além disso, os dados IFC interpretados foram importados no software AllPlan Engineering (v. 2025) e, posteriormente, exportados para avaliação da geometria

importada após a interpretação e das entidades IFC utilizadas na exportação. A interpretação de dados geométricos não paramétricos para dados paramétricos é mais difícil de ser implementada, especialmente quando se deseja determinar os parâmetros da seção transversal do elemento. A substituição da geometria explícita para implícita resulta em uma redução no número de instâncias IFC superior a 80%, gerando, portanto, arquivos .ifc menores. O AllPlan Engineering permite a importação de dados IFC de modelagem implícita além de *IfcExtrudedAreaSolid*, no entanto, não apresenta informações sobre as dimensões das seções transversais. A exportação de dados IFC pelo AllPlan Engineering é majoritariamente realizada por meio de geometria explícita.

Palavras-chave: BIM. IFC. Pontes. Modelagem paramétrica. Análise estrutural.

Abstract

Data can be exchanged between a BIM (Building Information Modeling) platform and structural analysis software using the open IFC (Industry Foundation Classes) standard. However, information losses can occur during data exchange, often resulting in user rework and problems in collaboration between architects and engineers. Some structural analysis software imports IFC data with non-parameterized information and errors in interpreting the information. In addition, inefficient geometric representations for structural analysis purposes, such as Brep (Boundary representation) geometry, may be exported, requiring more effort to implement an IFC data interpretation tool. Interpreting explicit geometric information into parametric information to carry out structural analysis is one of the main challenges for IFC data import implementers since a solid has several ways of representing its geometry. A simple example is the export of IFC data related to the geometry of bridge elements, which generally have linear elements with complex geometry but usually with a low semantic level in terms of their use for structural analysis. Some geometric representations are exported without the information related to the cross-section, longitudinal, vertical, or transverse directions, positioning of the section in a 3D system, and number of cross-sections for elements with cross-section variations along the length, among other information. If the IFC data exchange doesn't work, this geometric information is fundamental to the structural modeling process. Therefore, this work proposes an automatic parameterization of the geometry of concrete girder bridge elements, interpreting IFC4x3 data related to Brep's explicit geometry into IFC data of implicit geometry and parametric data exported for reading. Revit (v. 2025) was chosen to export the IFC4x3 data as it is a widely used BIM platform. Girders and piercap beams were chosen for interpreting the IFC geometric representation, due to the possibility of cross-section variation along the length of these elements. In addition, the interpreted IFC data was imported into the AllPlan Engineering software (v. 2025) and subsequently exported, evaluating the geometry imported after interpretation and the IFC entities used in the export. The interpretation of non-parametric geometric data into parametric data is more difficult to implement, especially in cases where you want to determine the parameters of the element's cross-section. The number of IFC instances when replacing explicit geometry with implicit geometry decreases by more than 80%, so implicit geometric representations generate smaller .ifc files. AllPlan Engineering allows IFC data import from implicit modeling in addition to IfcExtrudedAreaSolid but without cross-section information. The IFC data export by AllPlan Engineering is mostly done using explicit geometry.

Keywords: BIM. IFC. Bridges. Parametric modeling. Structural analysis.

INTRODUÇÃO

As informações relacionadas à modelagem geométrica de objetos BIM (*Building Information Modeling*) e a sua representação IFC (*Industry Foundation Classes*) possuem grande importância no processo de troca de dados entre uma plataforma BIM de modelagem e um software de análise estrutural. O IFC apresenta uma grande estrutura de dados voltada para a representação geométrica; portanto, a função que a geometria exerce no software de destino é fundamental para melhorar a eficiência na interpretação de dados geométricos [1]. Desconsiderar isso pode resultar em retrabalho no processo de modelagem e análise estrutural [2].

Nos projetos de pontes em vigas, a geometria de seus elementos geralmente apresenta grande complexidade devido ao uso de seções transversais variáveis ao longo do eixo longitudinal. Isso dificulta a parametrização e, consequentemente, reduz a qualidade da representação geométrica em IFC durante a exportação [3,4]. Em alguns casos, as propriedades geométricas desses elementos são

difíceis de interpretar, como as informações sobre seções transversais, comprimento do elemento, posicionamento do centro de gravidade ou do centro da caixa delimitadora da seção, entre outras. Assim, a representação geométrica explícita normalmente é exportada pelos softwares, utilizando superfícies trianguladas/poligonais e a geometria por representação de contorno (*Boundary Representation* – Brep). Esses dois tipos de representação geométrica requerem menor esforço na implementação da exportação dos dados IFC [5], mas perdem em nível semântico para análise estrutural [1]. Portanto, a parametrização eficiente e a sua ligação com a representação geométrica IFC são os fatores fundamentais para melhorar significativamente a interoperabilidade dos dados de pontes [3].

A interoperabilidade em um determinado domínio pode ser alcançada com o auxílio de ferramentas de interpretação de dados IFC. Para realizar a análise estrutural sem a necessidade de esforço adicional na modelagem, as informações devem ser interpretadas considerando a parametrização geométrica dos elementos e os dados dos materiais [6]. Atualmente, os softwares de modelagem e análise estrutural interpretam a geometria importada conforme se encontra no arquivo .ifc, dificultando a parametrização em casos de geometria explícita. Dessa forma, sólidos exportados por geometria Brep não são adequados para modelagem bidimensional de pontes em vigas, sendo necessários algoritmos de interpretação específicos para aumentar a semântica de geometria desse tipo.

Neste trabalho, propõe-se *i*) a parametrização da geometria de elementos de pontes de concreto em vigas com eixo reto, a partir da interpretação de dados de geometria Brep por meio de uma ferramenta denominada IPBrep; *ii*) a análise da importação e exportação dos dados geométricos desses elementos no software AllPlan Engineering (v. 2025), considerando a importação dos dados IFC da geometria implícita interpretada pelo IPBrep. O Revit (v. 2025) foi escolhido para a exportação dos dados IFC no esquema IFC4x3 da geometria Brep de longarinas e travessas, por ser uma plataforma BIM amplamente utilizada na modelagem estrutural. Longarinas e travessas, que geralmente apresentam variação de seção transversal ao longo do comprimento, foram os elementos estruturais escolhidos para este estudo. Os dados geométricos foram interpretados e parametrizados de acordo com as principais entidades IFC, facilitando a leitura para o usuário. O AllPlan Engineering foi selecionado pela facilidade de integração com o AllPlan Bridge, um software de modelagem e análise estrutural de pontes.

REVISÃO DE LITERATURA

A descrição da geometria 3D de um elemento de construção é um dos aspectos mais importantes na aplicação do BIM, desempenhando um papel central no domínio arquitetônico e na indústria da construção [7]. Grande parte da modelagem geométrica é abrangida pelo IFC, possibilitando diversas formas geométricas de representação [1,3]. Assim, a escolha da representação geométrica mais eficiente deve considerar os casos de uso de cada aplicação, o que, na prática, geralmente não é observado [7].

Segundo Wagner *et al.* [1], a descrição geométrica de um objeto pode ser classificada em uma das seguintes categorias: 1) Nuvem de pontos; 2) Sólidos formados por superfícies trianguladas/poligonais (*Tessellated*); 3) Brep; 4) CSG (*Constructive Solid Geometry*); 5) Extrusões, varreduras, rotações, e curvas de Bézier/B-Spline/NURBS (*Non-Uniform Rational Basis Spline*). O IFC não possui entidades que abrangem nuvens de pontos; assim, ferramentas de interpretação devem ser utilizadas para determinar os dados IFC [8]. Borrmann e Berkham [5] classificam as descrições geométricas 1, 2 e 3 como modelagem geométrica explícita e as descrições 4 e 5 como modelagem implícita.

Os sólidos formados por superfícies trianguladas ou poligonais são descritos por meio das coordenadas dos pontos no espaço e das curvas que ligam esses pontos, formando o sólido 3D. Sólidos Brep são compostos por faces, arestas e vértices que constituem o sólido 3D como um todo. Ambas as representações geométricas explícitas não são paramétricas e, portanto, são ideais para uso na coordenação e detecção de interferências [5]. A modelagem geométrica explícita também possui outro inconveniente: o grande volume de informações para representá-la, o que motiva o uso de ferramentas para evitar duplicidade de representações geométricas [9].

Os sólidos formados por modelagem implícita têm a capacidade de armazenar as informações necessárias para definir a geometria. Esse tipo de modelagem favorece a parametrização dos sólidos 3D, sendo, portanto, a escolha mais adequada para a troca de dados que envolve modelagem e análise estrutural [5], além da descrição geométrica de obras de infraestrutura. A parametrização na modelagem geométrica de pontes pode ser observada nos trabalhos de Sampaio [10], Ji *et al.* [3], Ji *et al.* [11] e Karaman *et al.* [12]. Para os profissionais da área de projetos de infraestrutura, o uso de varreduras é uma exigência importante para a troca de dados entre softwares [13].

O tipo predefinido dos elementos de construção é um fator importante para melhorar a eficiência da representação geométrica em IFC. Wu e Zhang [14] desenvolveram um algoritmo para classificar o tipo predefinido de um objeto BIM com base nas características geométricas comuns de vigas, lajes, fundações, pilares e paredes. Teixeira *et al.* [4] recomendaram entidades IFC para exportação de representações geométricas de elementos estruturais de pontes em vigas para fins de análise estrutural, considerando longarinas, transversinas, travessas e lajes posicionadas em relação ao alinhamento da ponte. As recomendações levaram em conta o tipo predefinido dos elementos, concluindo que os subtipos de *IfcSweptAreaSolid* e *IfcSectionedSolid* são os mais indicados para modelagem e análise estrutural bidimensional em elementos finitos de pontes em vigas.

METODOLOGIA

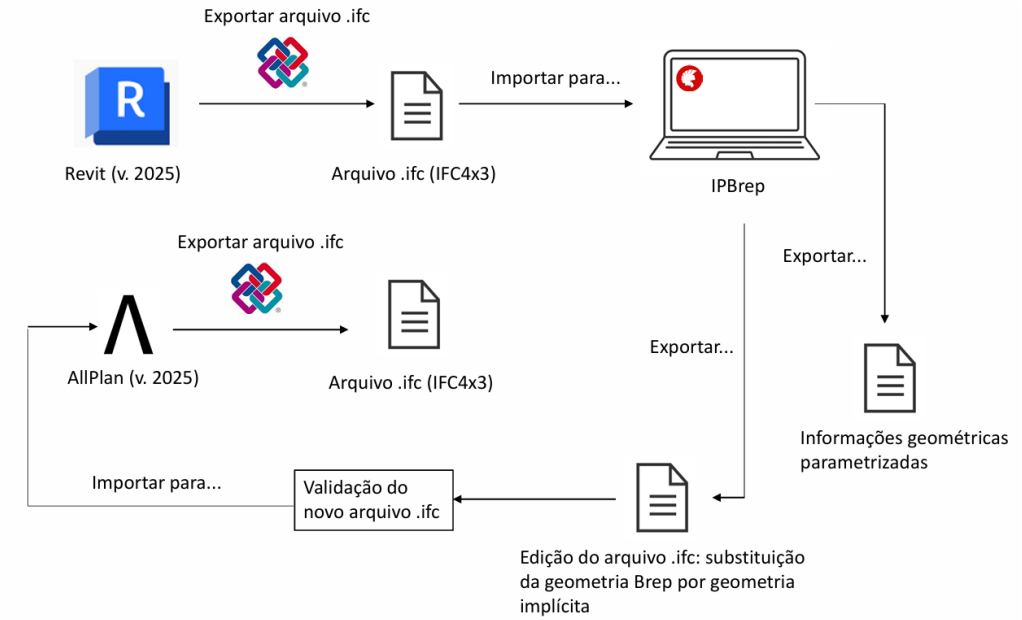
Mostra-se na Figura 1 um resumo esquemático da metodologia proposta para este trabalho. Elementos estruturais comuns em pontes em vigas foram modelados no Revit (v. 2025) e exportados no formato .ifc (IFC4x3). A ferramenta de interpretação de geometria Brep para dados paramétricos, denominada IPBrep, permite a importação de arquivos .ifc, identificando os elementos estruturais através do tipo predefinido de cada um.

Após a identificação, a representação geométrica Brep é interpretada para dados geométricos parametrizados (seções transversais e comprimentos). As informações interpretadas são exportadas em um arquivo .txt para consulta pelo usuário, facilitando o entendimento das características geométricas do sólido 3D que representa o elemento estrutural.

Em uma segunda exportação realizada pelo IPBrep, a representação geométrica do arquivo .ifc exportado pelo Revit é substituída por entidades IFC que representam a geometria implícita do sólido.

O novo arquivo .ifc é validado e importado no software AllPlan Engineering (v. 2025) para a avaliação dos dados geométricos. Além disso, os modelos IFC da longarina e da travessa foram exportados para análise qualitativa da representação geométrica dos elementos.

Figura 1: Resumo esquemático para a determinação da geometria paramétrica a partir de dados de geometria Brep.



Fonte: os autores.

O IPBrep é uma ferramenta capaz de importar arquivos .ifc com o objetivo de interpretar geometria Brep para dados paramétricos, exportando esses dados em um arquivo .txt. Os dados paramétricos exportados são organizados de forma a facilitar a leitura pelo usuário. A estrutura de dados foi desenvolvida na linguagem Delphi, e somente as entidades IFC relevantes para a interpretação foram implementadas.

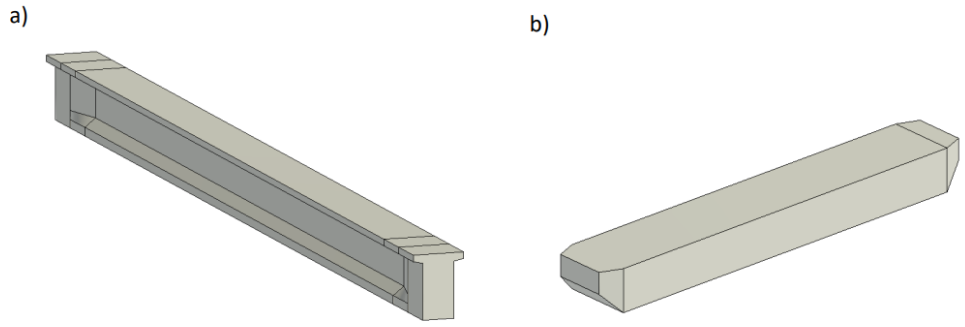
Uma vez que as longarinas e travessas podem ser projetadas com seções transversais variáveis, os elementos estruturais foram variados em função do polígono fechado das seções transversais. Foram considerados dois elementos exportados como geometria Brep: 1) Longarina de concreto com seção I e abas inclinadas (Figura 2.a); 2) Travessa com variação de seção transversal retangular nas extremidades (Figura 2.b).

A longarina possui cinco comprimentos diferentes, com três extrusões simples e duas extrusões com variação de seção transversal. As duas extrusões das seções engrossadas possuem 1m de comprimento, assim como as duas extrusões com variação de seção transversal.

O comprimento total da longarina é igual a 25m, portanto, o comprimento de extrusão da seção I com abas inclinadas é igual a 21m. A seção I com abas inclinadas possui os seguintes parâmetros, conforme os atributos de *IfcAsymmetricIShapeProfileDef*: largura da mesa inferior (*BottomFlangeWidth*): 0.75m; altura total (*OverallDepth*): 1.50m; espessura da alma (*WebThickness*): 0.25m; espessura da mesa inferior (*BottomFlangeThickness*): 0.20m; largura da mesa superior (*TopFlangeWidth*): 1.20m; espessura da mesa superior (*TopFlangeThickness*): 0.15m; ângulo de inclinação da aba inferior (*BottomFlangeSlope*): 0.6747rad (38.66°); ângulo de inclinação da aba superior (*TopFlangeSlope*): 0.2075rad (11.89°).

A origem da longarina está posicionada no ponto (0.000,-3.800,-0.950) em relação ao sistema global do projeto (WCS).

Figura 2: Elementos estruturais de pontes consideradas neste trabalho: a) Longarina com seção I e abas inclinadas; b) Travessa com variação de seção retangular nas extremidades.

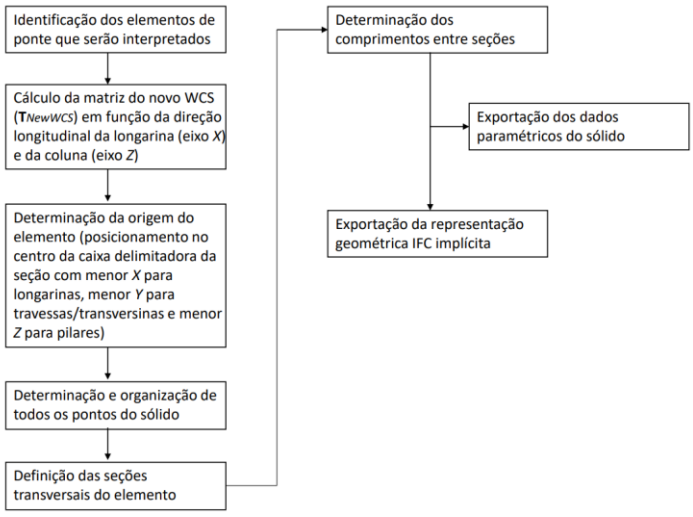


Fonte: os autores.

A travessa possui seção transversal retangular, com as seções das extremidades medindo 1.20m x 1.00m e a seção central medindo 1.60m x 1.00m. O comprimento dos trechos com seções variáveis é igual a 0.5m, e o comprimento total da travessa é igual a 10m. A origem da travessa está posicionada no ponto (25.000,-5.000,-2.314) em relação ao WCS.

A metodologia utilizada para interpretar geometria Brep em geometria implícita está ilustrada na Figura 3. Inicialmente, realiza-se a importação do arquivo .ifc para leitura e identificação dos elementos de ponte, através do tipo predefinido especificado pelo atributo *PredefinedType* de cada entidade IFC. Em seguida, determina-se a matriz de transformação do novo WCS ($\mathbf{T}_{NewWCS}$), considerando a direção longitudinal das longarinas como o novo eixo *X* global e a direção longitudinal dos pilares como o novo eixo *Z*. A origem do elemento em relação ao novo WCS é calculada considerando o ponto do centro da caixa delimitadora da seção transversal com o menor valor de *X* para as longarinas, o menor valor de *Y* para travessas/transversinas e o menor valor de *Z* para pilares. Com todos os pontos do sólido, determinam-se os pontos de cada seção transversal do elemento e os comprimentos entre seções. Assim, dois arquivos são exportados: um com os dados IFC da representação geométrica implícita e outro com os dados paramétricos de cada elemento, de forma que o último possa ser lido facilmente por um usuário.

Figura 3: Metodologia para interpretação de dados de geometria Brep para geometria implícita.



Fonte: os autores.

RESULTADOS

LONGARINA

Exportou-se o arquivo .ifc referente a longarina ilustrada na Figura 2, contendo 1404 instâncias IFC. A representação geométrica da longarina foi representada da instância de posição #96 até a posição #984, totalizando 888 instâncias para representar a geometria Brep de uma longarina.

Mostra-se na Figura 4 uma parte da representação geométrica após a interpretação da geometria Brep da longarina. Para interpretar a geometria Brep em geometria implícita, utilizaram-se as entidades *IfcExtrudedAreaSolid* nos trechos de extrusão simples e *IfcExtrudedAreaSolidTapered* nos trechos de variação de seção transversal. Nos trechos com variação de seção transversal, torna-se impossível a utilização da entidade *IfcAsymmetricIShapeProfileDef* na definição das seções, devido à validação do valor da espessura da alma. Portanto, optou-se pela utilização da entidade *IfcArbitraryClosedProfileDef*, definindo a seção arbitrária por meio de pontos (*IfcPolyline*). Foram necessárias 42 instâncias IFC para definir a representação geométrica, gerando uma redução de 95.27% no número de instâncias.

Figura 4: Entidades IFC que definem a representação geométrica implícita da longarina.

```
#1039=IFCCARTESIANPOINT((0.000,0.000,24.000));
#1040=IFCAXIS2PLACEMENT3D(#1039,$,$);
#1041=IFCCARTESIANPOINT((0.000,0.000,23.000));
#1042=IFCAXIS2PLACEMENT3D(#1041,$,$);
#1043=IFCCARTESIANPOINT((0.000,0.000,2.000));
#1044=IFCAXIS2PLACEMENT3D(#1043,$,$);
#1045=IFCCARTESIANPOINT((-0.600,0.750));
#1046=IFCCARTESIANPOINT((-0.600,0.600));
...
#1055=IFCCARTESIANPOINT((0.600,0.600));
#1056=IFCCARTESIANPOINT((0.600,0.750));
#1057=IFCPOLYLINE((#1056,#1055,#1054,#1053,#1052,#1051,#1050,#1049,#1048,#1047,#1046,#1045,#1056));
#1058=IFCARBITRARYCLOSEDPROFILEDEF(.AREA.,$,#1057);
#1059=IFCCARTESIANPOINT((0.000,0.000,1.000));
#1060=IFCAXIS2PLACEMENT3D(#1059,$,$);
#1061=IFCCARTESIANPOINT((-0.600,0.750));
#1062=IFCCARTESIANPOINT((-0.600,0.600));
...
#1070=IFCCARTESIANPOINT((0.375,0.553));
#1071=IFCCARTESIANPOINT((0.600,0.600));
#1072=IFCCARTESIANPOINT((0.600,0.750));
#1073=IFCPOLYLINE((#1072,#1071,#1070,#1069,#1068,#1067,#1066,#1065,#1064,#1063,#1062,#1061,#1072));
#1074=IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
#1075=IFCARBITRARYCLOSEDPROFILEDEF(.AREA.,$,#1073);
#1076=IFCEXTRUDEDAREASOLID(#1075,#1040,#1074,1.000);
#1077=IFCEXTRUDEDAREASOLIDTAPERED(#1058,#1042,#1074,1.000,#1075);
#1078=IFCEXTRUDEDAREASOLID(#1058,#1044,#1074,21.000);
#1079=IFCEXTRUDEDAREASOLIDTAPERED(#1075,#1060,#1074,1.000,#1058);
#1080=IFCEXTRUDEDAREASOLID(#1075,$,#1074,1.000);
#1081=IFCSHAPEREPRESENTATION(#24,'Body','AdvancedSweptSolid',(#1080,#1079,#1078,#1077,#1076));
```

Fonte: os autores.

O arquivo de dados paramétricos é exportado para leitura e interpretação pelo usuário. Mostra-se na Figura 5 as informações exportadas referentes à longarina. Os parâmetros das seções transversais são apresentados conforme os atributos das entidades subtipo de IfcParameterizedProfileDef. As seções das extremidades da longarina possuem parâmetros da entidade IfcTShapeProfileDef, enquanto as demais seções possuem parâmetros da entidade IfcAsymmetricIShapeProfileDef. A longarina possui as seguintes informações: nome, número de trechos, seção transversal dos trechos extrudados, comprimento dos trechos, seção inicial e final para os trechos com seção transversal variável, e a posição no plano xy do centro da caixa delimitadora das seções inicial e final.

TRAVESSA

A representação geométrica Brep da travessa foi registrada da instância de posição #79 até a posição #163, totalizando 84 instâncias IFC. De maneira análoga, o arquivo .ifc do modelo da travessa foi exportado e interpretado, totalizando 16 instâncias IFC para representar a geometria implícita, gerando uma redução de 80.95% no número de instâncias. As entidades IFC que definem a representação geométrica implícita da travessa são mostradas na Figura 6.

As seções da travessa foram interpretadas por meio de *IfcRectangleProfileDef*. A instância de posição #176, por exemplo, define a seção transversal retangular final da primeira extrusão com variação linear, no qual o atributo *Position* de *IfcRectangleProfileDef* aponta para uma instância de *IfcAxis2Placement2D*, definindo a posição do centro da caixa delimitadora da seção. Como as alturas das seções inicial e final possuem dimensões 0.50m e 1.00m, respectivamente, o centro da caixa delimitadora da seção final é deslocado em - 0.25m, conforme mostrado nas instâncias de posições #175 e #174.

Figura 5: Informações da geometria paramétrica da longarina.

```
CROSS-SECTIONS:
Number of cross-sections: 2
*************
Cross-Section1:
IFCEntity: IfcTShapeProfileDef
Name: T-Shape
Depth: 1.5000
FlangeWidth: 1.2000
WebThickness: 0.7500
FlangeThickness: 0.7500
FilletRadius: $
FlangeEdgeRadius: $
WebEdgeRadius: $
WebSlope: $
FlangeSlope: 0.2075
*************
Cross-Section2:
IFCEntity: IfcAsymmetricIShapeProfileDef
Name: I-Girder
BottomFlangeWidth: 0.7500
OverallDepth: 1.5000
WebThickness: 0.2500
BottomFlangeThickness: 0.2000
BottomFlangeFilletRadius: $
TopFlangeWidth: 1.2000
TopFlangeThickness: 0.1500
TopFlangeFilletRadius: $
BottomFlangeFilletRadius: $
BottomFlangeSlope: 0.6747
TopFlangeEdgeRadius: $
TopFlangeSlope: 0.2075
*************
```

```
GIRDERS:
Number of girders: 1
-------------
Girder1:
Name: G01
Number of parts: 5
Origin (WCS): 0.000 -3.800 -0.950
-------------
Part1:
Cross-section: T-Shape
Length: 1.0000
-------------
Part2:
Initial cross-section: T-Shape
Initial cross-section position (x,y): 0.000 0.000
Final cross-section: I-Girder
Final cross-section position (x,y): 0.000 0.000
Length: 1.0000
-------------
Part3:
Cross-section: I-Girder
Length: 21.0000
-------------
Part4:
Initial cross-section: I-Girder
Initial cross-section position (x,y): 0.000 0.000
Final cross-section: T-Shape
Final cross-section position (x,y): 0.000 0.000
Length: 1.0000
-------------
Part5:
Cross-section: T-Shape
Length: 1.0000
*************
```

Fonte: os autores.

Figura 6: Entidades IFC que definem a representação geométrica implícita da travessa.

```
#166=IFCCARTESIANPOINT((0.000,0.250));
#167=IFCAXIS2PLACEMENT2D(#166,$);
#168=IFCRECTANGLEPROFILEDEF(.AREA.,$,#167,1.600,0.500);
#169=IFCCARTESIANPOINT((0.000,-0.250,9.500));
#170=IFCAXIS2PLACEMENT3D(#169,$,$);
#171=IFCCARTESIANPOINT((0.000,-0.250,0.500));
#172=IFCAXIS2PLACEMENT3D(#171,$,$);
#173=IFCRECTANGLEPROFILEDEF(.AREA.,$,$,1.600,1.000);
#174=IFCCARTESIANPOINT((0.000,-0.250));
#175=IFCAXIS2PLACEMENT2D(#174,$);
#176=IFCRECTANGLEPROFILEDEF(.AREA.,$,#175,1.600,1.000);
#177=IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
#178=IFCRECTANGLEPROFILEDEF(.AREA.,$,$,1.200,0.500);
#179=IFCEXTRUDEDAREASOLIDTAPERED(#173,#170,#177,0.500,#168);
#180=IFCEXTRUDEDAREASOLID(#173,#172,#177,9.000);
#181=IFCEXTRUDEDAREASOLIDTAPERED(#178,$,#177,0.500,#176);
#182=IFCSHAPEREPRESENTATION(#24,'Body','AdvancedSweptSolid',(#181,#180,#179));
```

Fonte: os autores.

O arquivo de dados paramétricos da travessa exportado pelo IPBrep segue o mesmo raciocínio que o das longarinas, com a diferença de que as coordenadas locais (*x*,*y*) do centro da caixa delimitadora da seção transversal da travessa pode sofrer modificações em relação ao valor *X* global. Mostra-se na Figura 7 as informações da geometria paramétrica da travessa.

Figura 7: Informações da geometria paramétrica da travessa.

```
CROSS-SECTIONS:
Number of cross-sections: 2
*************
Cross-Section1:
IFCEntity: IfcRectangleProfileDef
Name: 1.20x0.50
XDim: 1.2000
YDim: 0.5000
*************
Cross-Section2:
IFCEntity: IfcRectangleProfileDef
Name: 1.60x1.00
XDim: 1.6000
YDim: 1.0000
*************
```

```
PIERCAP BEAMS:
Number of piercap beams: 1
-------------
Piercap beam1:
Name: PB01
Number of parts: 3
Origin (WCS): 25.000 -5.000 -2.064
-------------
Part1:
Initial cross-section: 1.20x0.50
Initial cross-section position (x,y): 0.000 0.000
Final cross-section: 1.60x1.00
Final cross-section position (x,y): 0.000 -0.250
Length: 0.5000
-------------
Part2:
Cross-section: 1.60x1.00
Length: 9.0000
-------------
Part3:
Initial cross-section: 1.60x1.00
Initial cross-section position (x,y): 0.000 0.000
Final cross-section: 1.20x0.50
Final cross-section position (x,y): 0.000 0.250
Length: 0.5000
*************
```

Fonte: os autores.

IMPORTAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE DADOS IFC UTILIZANDO O ALLPLAN ENGINNERING

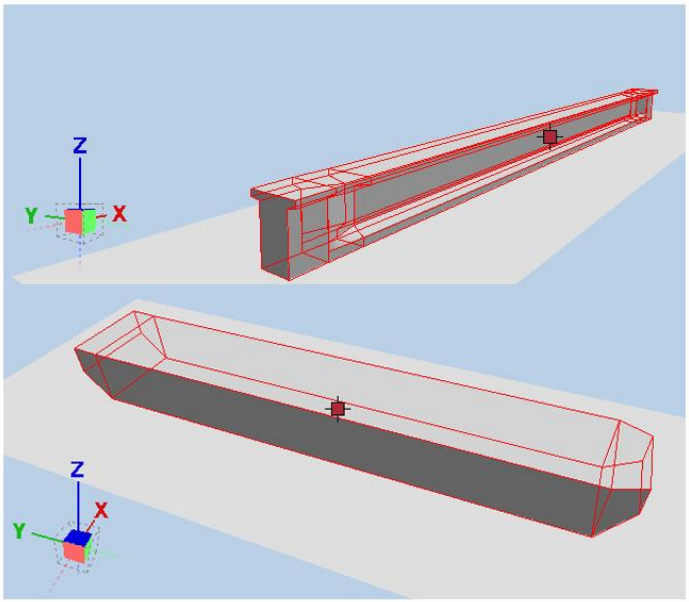
Os dados IFC de geometria implícita do modelo da longarina e da travessa foram importados no AllPlan Engineering para a análise das características geométricas. Mostra-se na Figura 8 o resultado da importação de cada elemento. O AllPlan Engineering permitiu a interpretação do sólido 3D sem erros; no entanto, as informações das seções transversais da longarina (seções arbitrárias interpretadas por meio de *IfcArbitraryClosedProfileDef*) e da travessa (seções paramétricas interpretadas por meio de *IfcRectangleProfileDef*) não foram identificadas.

Ao selecionar os elementos, as seções transversais descritas nas entidades *IfcExtrudedAreaSolid* e *IfcExtrudedAreaSolidTapered* são exibidas, porém, sem as suas dimensões.

Quanto à exportação dos dados IFC4x3, o usuário pode escolher o tipo de representação geométrica que deseja exportar, com as seguintes opções: 1) Extrusão + Brep; 2) Extrusão + superfície triangulada; 3) Brep; 4) Superfície triangulada.

Em todas as opções escolhidas, houve representação geométrica explícita em sua totalidade, ou seja, representação geométrica Brep (subtipos de *IfcManifoldSolidBrep*) ou superfície triangulada (subtipos de *IfcTessellatedItem*). Portanto, mesmo os elementos sendo importados por meio de representação geométrica implícita, a exportação no AllPlan Engineering foi realizada utilizando geometria explícita.

Figura 8: Longarina e travessa no AllPlan Engineering a partir da importação de dados IFC de geometria implícita.



Fonte: os autores.

CONCLUSÕES

Este estudo apresenta a interpretação de dados da representação geométrica Brep para geometria implícita, utilizando uma ferramenta denominada IPBrep. Essa ferramenta importa arquivos .ifc, interpreta a geometria Brep e exporta dados de representação geométrica IFC por meio de extrusão com e sem variação de seção transversal. Além disso, a ferramenta permite a exportação de dados paramétricos dos elementos de ponte que podem ser interpretados pelos usuários. Assim, as seguintes conclusões são apresentadas:

1. O tamanho do arquivo .ifc diminui com a substituição da geometria Brep pela geometria implícita, utilizando *IfcExtrudedAreaSolid* e *IfcExtrudedAreaSolid-Tapered*. Nos exemplos apresentados neste trabalho, a diminuição no número de instâncias IFC, em percentual, para a longarina e a travessa foi de 95.27% e 80.95%, respectivamente. Os trechos com seção variável na longarina possuem muitas faces, o que aumentou o número de instâncias *IfcFace* para representá-las.
2. A ferramenta de interpretação permite a exportação de dados paramétricos de cada elemento da ponte de forma estruturada, além de facilitar o entendimento por parte do usuário. Nos casos em que a há perdas de informações na troca de dados entre uma plataforma BIM de modelagem e um software de análise estrutural de pontes, o uso das informações paramétricas dos elementos pode ajudar na remodelagem estrutural.
3. O AllPlan Engineering permite a importação sem erros para representações geométricas implícitas utilizando *IfcExtrudedAreaSolidTapered*; porém, apresenta baixo nível semântico em relação às informações das dimensões das seções transversais. Quanto à exportação no esquema IFC4x3, todos os elementos foram exportados utilizando subtipos de *IfcManifoldSolidBrep* para sólidos Brep ou *IfcTessellatedItem* para sólidos representados por superfícies trianguladas. Portanto, o Revit e o AllPlan Engineering, ambos nas versões 2025, não exportam 100% dos dados de geometria implícita de um sólido 3D.
4. É consideravelmente maior o esforço computacional para determinar os esforços internos em elementos com seção transversal variável. Assim, simplificações podem ser realizadas, como a divisão do trecho variável em vários trechos com seção transversal constante. Porém, o trecho variável possui a sua importância no detalhamento das armaduras. Logo, a exportação dos dados paramétricos dos

elementos, além da representação geométrica IFC implícita, facilita a etapa de modelagem, análise e posição das armaduras.

Como sugestões para trabalhos futuros, propõe-se uma ferramenta de interpretação de geometria Brep para geometria IFC implícita, levando em conta o alinhamento da ponte (*IfcAlignment*) e a utilização da entidade *IfcSectionedSolidHorizontal*.

REFERÊNCIAS

[1] WAGNER, A.; BONDUEL, M.; PAUWELS, P.; RÜPPEL, U. Representing construction-related geometry in a semantic web context: A review of approaches. In: Automation in Construction, v. 115, 103130, mar. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103130

[2] RAMAJI, I.; MEMARI, A. Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. In: Automation in Construction, v. 90, p. 117-133, feb. 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025

[3] JI, Y.; BEETZ, J.; NISBET, N.; BONSMA, P.; KATZ, C.; BORRMANN, A. Integration of parametric geometry into IFC-Bridge. In: 23rd EUROPEAN CONFERENCE FORUM BAUINFORMATIK, 2011, Cork, p. 1-8.

[4] TEIXEIRA, G.; RIBEIRO, J.C.; CÉSAR JÚNIOR, K.; OLIVEIRA, D.; CARVALHO, J.M. Recomendações sobre a exportação de dados IFC de elementos estruturais de pontes de concreto em vigas para fins de análise estrutural via MEF. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 2023, Rio de Janeiro, p. 1-8.

[5] BORRMANN, A.; BERKHAN, V. Principles of geometric modeling. In: BORRMANN, A.; KÖNIG, M.; KOCH, C.; BEETZ, J. Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice. 1. ed. Cham, 2018. p. 27-41.

[6] REN, R. ZHANG, J. Comparison of BIM interoperability applications at different structural analysis stages. In: CONSTRUCTION INFORMATION TECHNOLOGY, 2020, Reston, p. 537-545.

[7] MCGLINN, K.; WAGNER, A.; PAUWELS, P.; BONSMA, P.; KELLY, P.; O'SULLIVAN, D. Interlinking geospatial and building geometry with existing and developing standards on the web. In: Automation in Construction, v. 103, p. 235-250, dec. 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.026

[8] JUSTO, A.; LAMAS, D.; SÁNCHEZ-RODÍGUEZ, A.; SOILÁN, M.; RIVEIRO, B. Generating IFC-compliant models and structural graphs of truss bridges from dense point clouds. In: Automation in Construction, v. 149, 104786, feb. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104786

[9] VONTHRON, A.; KOCH, C.; KÖNIG, M. Removing duplicated geometries in IFC models using rigid body transformation estimation and flyweight design pattern. In: Visualization in Engineering, v. 6, p. 1-15, feb. 2018. DOI: https://doi.org/10.1186/s40327-018-0061-x

[10] SAMPAIO, A. Geometric modeling of box girder deck for integrated bridge graphical system. In: Automation in Construction, v. 12, p. 55-66, apr. 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/S0926-5805(02)00040-7

[11] JI, Y. BORRMANN, A.; OBERGRIEBER, M. Towards the exchange of parametric bridge models using a neutral data format. In: Journal of Computing in Civil Engineering, v. 27, p. 593-606, jun. 2013. DOI: https://doi.org/10.1061/41182(416)65

[12] KARAMAN, S.; CHEN, S.; RATNAGARAN, B. Three-dimensional parametric data exchange for curved steel bridges. In: Transportation Research Record, v. 2331, p. 27-34, jan. 2013. DOI: https://doi.org/10.3141/2331-03

[13] BORRMANN, A.; MUHIC, S.; HYVÄRINEN, J.; CHIPMAN, T.; JAUD, S.; CASTAING, C.; DUMOULIN, C.; LIEBICH, T.; MOL, L. The IFC-BRIDGE Project – Extending the IFC standard to enable high-quality exchange of bridge information models. In: EUROPEAN COUNCIL ON COMPUTING IN CONSTRUCTION, 2019, Chania, p. 377-386.

[14] WU, J.; ZHANG, J. New automated BIM object classification method to support BIM interoperability. In: Journal of Computing in Civil Engineering, v. 33, 04019033, jul. 2019. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943 5487.0000858

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Fabricação digital no pátio de estacionamento e manutenção da Linha 6 de metrô de São Paulo

Digital fabrication at Line 6 metro São Paulo Project train yard

Pedro Rey Anton | ACCIONA Construcción S.A | pedro.rey.anton@acciona.com
Alessandra Barbetta | ACCIONA Construcción S.A | abarbettalima@acciona.com
Bruna Bezerra Vieira | ACCIONA Construcción S.A | bbezerravieira@acciona.com
Bruna Gonçalves | ACCIONA Construcción S.A | bgoncalvessilva@acciona.com
Mayara Lika Ozaki | ACCIONA Construcción S.A | mlikaozakiaraujo@acciona.com
Mayara Palladino | ACCIONA Construcción S.A | mpalladinopaula@acciona.com
Isabela Marques | ACCIONA Construcción S.A |imarqueslima.bec@acciona.com
Carlos Peña Chueca | ACCIONA Construcción S.A | capenac@acciona.com
Loreto Fuentes | ACCIONA Construcción S.A | lfuentessolera@acciona.com

DOI: 10.5281/zenodo.14478010

Resumo

As constantes evoluções no setor AEC, têm gerado diferentes interpretações das normas vigentes, como a ISO 19650. Com o avanço contínuo, novos termos estão sendo adotados, como o de fabricação digital, nomeado em alguns artigos como dimensão 10D. A fabricação digital foca na industrialização e na melhoria da produtividade durante todo o processo de construção, integrando tecnologias digitais avançadas. Essa abordagem visa otimizar cada etapa do ciclo de vida de uma edificação; desde a concepção, construção, operação e manutenção, em uma plataforma digital centralizada. O uso de dados integrados em um ambiente comum de dados (CDE) permite que gestores e equipes de projeto tenham ferramentas intuitivas para conduzir o planejamento e a execução de forma eficiente e precisa. Esses dados oferecem suporte crucial para estimar custos, programar atividades, avaliar a sustentabilidade do projeto e garantir a saúde e segurança dos trabalhadores, além de prever e mitigar riscos, minimizando divergências durante a execução. Assim, a implementação da fabricação digital tem se tornado uma realidade crescente no setor da construção. Um exemplo notável da aplicação dessa metodologia é o projeto do Pátio Morro Grande, que ocupa uma área de aproximadamente 210.000 m². Este pátio, que abrange 19 blocos, vias públicas e ferroviárias com 29 trilhos e 8,5 km de extensão, além de 28 AMVs, será parte fundamental para a futura operação da Linha 6, que contará com 15,3 km de trilhos, 15 estações e 17 poços de ventilação. As principais funções do pátio incluem estacionamento, limpeza, manutenção de trens e via permanente, além de servir como base para conservação das estações e abrigar o Centro de Controle e Operações. A integração entre planejamento e execução torna o pátio vital para a segurança e o suporte operacional da linha, contribuindo para um gerenciamento eficiente da infraestrutura. O desenvolvimento do projeto envolveu mais de 60 disciplinas, como estruturas, sistemas ferroviários e prediais, geotecnia, arquitetura e topografia, sob um contrato de Design&Build&Operation. Ante a dificuldade da coordenação eficaz de todos esses componentes, decidiu-se desenvolvê-lo na metodologia BIM, o qual gerou mais de 200 modelos digitais

integrados em um único modelo federado. Este modelo multidisciplinar funcionou como uma fonte central de informações e um canal essencial para garantir a coordenação entre as diversas equipes. O uso do BIM assegurou a continuidade do fluxo de informações entre a fase de projeto e a construção, permitindo o monitoramento constante e a resolução antecipada de problemas. Este estudo examina a utilização da fabricação digital num Pátio de Estacionamento e Manutenção de Trens, enfatizando a industrialização do processo de construção e a importância das fases de Operação e Manutenção, a pré-construção digital e a pré-fabricação aumentaram significativamente a produtividade e a eficiência do projeto e seu entendimento por todas as equipes.

Palavras-chave: BIM10D. Pátio Trens. Linha metro. Fabricação digital. *Design&Build.*

Abstract

The continuous advancements in the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) sector have led to new interpretations of standards, such as ISO 19650. As the sector evolves, terms like "digital fabrication" are becoming prevalent, sometimes even labelled the 10D dimension in various articles. This concept of digital fabrication centers around construction industrialization, focusing on enhancing productivity by integrating advanced digital technologies throughout the construction process. This innovative approach aims to optimize each stage of a building's lifecycle, from its initial conception to construction, operation, and maintenance, all within a unified, centralized digital platform. Through a Common Data Environment (CDE), managers and project teams gain access to integrated tools that streamline planning and execution with precision and efficiency. Data insights not only aid in cost estimation and activity scheduling but are also crucial in assessing sustainability, promoting the health and safety of workers, and forecasting and mitigating potential risks. This structured, data-driven approach minimizes discrepancies and misunderstandings that might arise during project execution, reducing delays and enhancing overall project outcomes. Consequently, digital fabrication is increasingly implemented in the construction sector, offering substantial benefits and improvements. A notable example of digital fabrication is the "Pátio Morro Grande" project, a large-scale undertaking covering around 210,000 m². This complex site includes 19 building blocks, public and railway infrastructure, with 29 tracks spanning 8.5 km and 28 switches. This Train Yard will support the future operations of Line 6 São Paulo Metro, which includes 15.3 km of tracks, 15 stations, and 17 ventilation shafts. The primary functions of the yard encompass parking, cleaning, and maintaining both trains and permanent ways. It also serves as a base for station conservation and houses the essential Control and Operations Center. The integration between planning and execution makes this train yard essential the safety and operational support of the Line 6, contributing to efficient infrastructure management. The project's development required coordinating over 60 disciplines, spanning structural, rail, and building systems, as well as geotechnics, architecture, and surveying, under a comprehensive Design, Build, and Operation contract. To manage this complexity, the BIM methodology was adopted, generating more than 200 digital models that were integrated into a single federated model. This multidisciplinary model became a central source of information and an essential channel for ensuring coordination among all involved teams. By maintaining a consistent information flow from design to construction, BIM enabled real-time monitoring and early issue resolution. This study closely examines the application of digital fabrication at the Parking and Maintenance Trains Yard, underscoring the value of industrializing the construction process and the importance of the Operation and Maintenance phases. The digital pre-construction and prefabrication processes significantly increased the project's productivity and efficiency, as well as the clarity and comprehension among all teams.

Keywords: BIM10D. Trains yard. Metro line. Digital fabrication. Design&Build

INTRODUÇÃO

A Linha 6 Laranja do metrô de São Paulo, é o maior projeto de infraestrutura público-privada em desenvolvimento na América Latina, com 15,3km de extensão. A linha contará com 15 estações e 17 poços de ventilação e saídas de emergência, e um pátio de estacionamento e manutenção de trens [1]. Ligará o centro da capital ao extremo noroeste, atravessando diversos bairros da cidade. No extremo noroeste da linha, na região da Brasilândia, está localizado o Pátio Morro Grande, destinado à manutenção e estacionamento dos trens da linha. Está construído sobre a antiga pedreira Anhanguera, o que representou um grande desafio da engenharia desde os primeiros layouts do projeto. O pátio é composto por 19 blocos, viário, via permanente ferroviária e uma ampla área de estacionamento com capacidade para abrigar 22 trens, com 6 carros cada. (Figura 1)

Figura 1: Pátio Morro Grande – Manutenção e Estacionamento dos Trens.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A concepção de um projeto dessa magnitude, é uma etapa crucial no cronograma. Sendo considerado um marco importante da obra, envolve o planejamento detalhado de todas as fases, desde a definição dos objetivos até a elaboração das especificações técnicas e dos recursos necessários para sua execução. Um dos principais desafios na concepção de projetos de infraestrutura é a gestão multidisciplinar, que envolve a coordenação e integração de diversas áreas de conhecimento e especialidades para garantir que todas as partes do projeto sejam desenvolvidas de forma eficiente. No projeto do Pátio Morro Grande, temos desenvolvidas mais de 60 disciplinas como arquitetura, estrutura (concreto e metálica), sistemas ferroviários e prediais, topografia, entre outras. Isso torna o projeto mais complexo devido à diversidade de elementos e à necessidade da perfeita sincronização entre eles.

Visando facilitar o trabalho das equipes envolvidas no projeto, além de dar suporte à coordenação, fabricação de elementos e execução da obra, optou-se por desenvolver o projeto e a construção do pátio utilizando a metodologia BIM (*Building Information Modeling*). Cada disciplina foi desenvolvida e integrada em um modelo federado multidisciplinar, sendo o principal canal para a coordenação de todas as disciplinas, além de se estabelecer como uma fonte central de informações. Esses modelos foram inicialmente desenvolvidos na fase de projeto e posteriormente ajustados durante a fase de construção, permitindo a coordenação contínua do *as-built* ao longo da sua execução. Em uma fase posterior, com a entrada de subcontratados, fornecedores e fabricantes, seus escopos também foram desenvolvidos através dessa metodologia, e foram integrados e coordenados com os demais modelos.

BIM

Nos últimos anos, o setor da construção civil passou por transformações constantes, destacando-se a revolução digital na Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). Nesse contexto, o processo BIM tornou-se essencial para o desenvolvimento de projetos, possibilitando a criação de um modelo virtual preciso e rico em informações, que abrange desde a geometria e dados paramétricos até detalhes sobre a construção, operação e manutenção do empreendimento. Essa base de dados gerada através dos modelos BIM, permite uma visão unificada do todo e facilita a detecção precoce de interferências e inconsistências entre as diversas disciplinas [2].

O modelo BIM incorpora informações de todo o ciclo de vida de um ativo, desde o projeto até a operação e manutenção. Ele pode ser utilizado para auxiliar em cada uma das etapas desse ciclo, resultando em um repositório de dados que pode ser utilizado para diversos fins [3]. Para garantir que todos tenham acesso a essas informações, foi adotado um Ambiente Comum de Dados (CDE - *Common Data Environment*), onde esses modelos são compartilhados em tempo real à medida que sofrem alterações significativas.

FABRICAÇÃO DIGITAL

A fabricação digital refere-se ao uso de tecnologias para produzir projetos digitais, e transformá-los em produtos físicos de maneira precisa. Isso envolve a aplicação de softwares de modelagem 3D, simulação e análise, além de diversas tecnologias de fabricação.

FABRICAÇÃO DIGITAL E BIM

A integração da Fabricação Digital nos modelos BIM está revolucionando o setor da construção civil, atingindo um novo nível de eficiência, precisão e sustentabilidade [4]. O BIM permite a criação de modelos digitais detalhados e colaborativos, o que facilita o planejamento, a execução e a gestão de projetos, enquanto a fabricação digital transforma esses modelos em componentes físicos com exatidão [2].

O uso do BIM em projetos, combinado com a fabricação digital para a criação de componentes pré-fabricados ou customizados, traz benefícios significativos para a construção [5]. Entre eles estão a redução de retrabalhos, a melhoria na qualidade dos materiais e uma maior precisão na execução. Os modelos gerados utilizando o BIM, permite que os componentes construtivos, possam ser fabricados fora do canteiro de obras e posteriormente montados no local. Estes conceitos foram aplicados no projeto do pátio de trens Morro Grande.

À medida que o projeto evolui e diferentes subcontratados e fornecedores desenvolvem seus respectivos modelos, a fabricação digital se torna fundamental para garantir uma coordenação eficiente. Com foco na industrialização e no aumento da produtividade por meio da integração de tecnologias digitais avançadas, otimizando todas as etapas do ciclo de vida de um edifício. O principal objetivo é maximizar a eficiência desde a concepção até a construção e a gestão de ativos, utilizando uma plataforma centralizada. Os dados gerados nessa fase são essenciais para estimar custos, planejar atividades e programar tarefas, o que ajuda a minimizar erros e divergências durante a execução do projeto.

No projeto, a fabricação digital foi implementada para maximizar a eficiência e a produtividade por meio da pré-construção e pré-fabricação digital [6]. Esse processo permitiu o desenvolvimento de modelos, que serviram como base para a fabricação de componentes fora do canteiro de obras, uma vez que os documentos são extraídos dos modelos BIM, evitando a duplicidade de informações. Como resultado, a montagem no local é realizada de maneira mais ágil e precisa, reduzindo significativamente atrasos, interrupções no cronograma, e discrepâncias entre o projeto e o *As-built*. (Figuras 2 e 3).

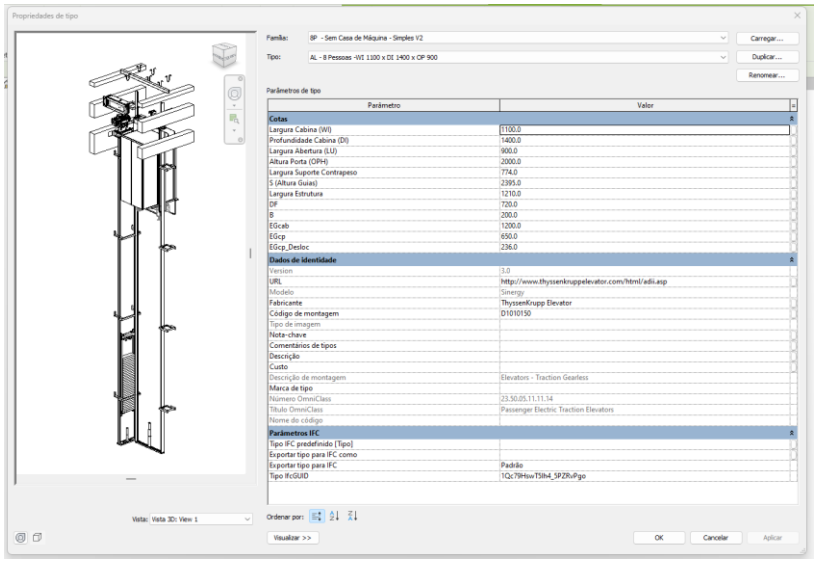
Figuras 2 e 3: Obra e modelo BIM Pátio Morro Grande



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Ao final do processo de desenho, o gerado contém informações de cada componente pré-fabricado, incluindo dimensões, materiais e métodos de montagem. Essas informações permitem que as peças sejam produzidas de maneira precisa (Figura 4). A pré-construção digital assegura que todos os detalhes do projeto estejam corretos e coordenados com as demais disciplinas antes de iniciar a fabricação, garantindo uma execução eficiente e em conformidade com as especificações. Assim, o BIM não apenas facilita a coordenação entre o desenho e os processos de fabricação, mas também disponibiliza informações cruciais que orientam a construção, isso assegura que cada etapa esteja em total conformidade com os requisitos do projeto, promovendo uma construção mais rápida, eficaz e sustentável.

Figura 4: Exemplo de parâmetros no modelo BIM do fabricante de elevadores.



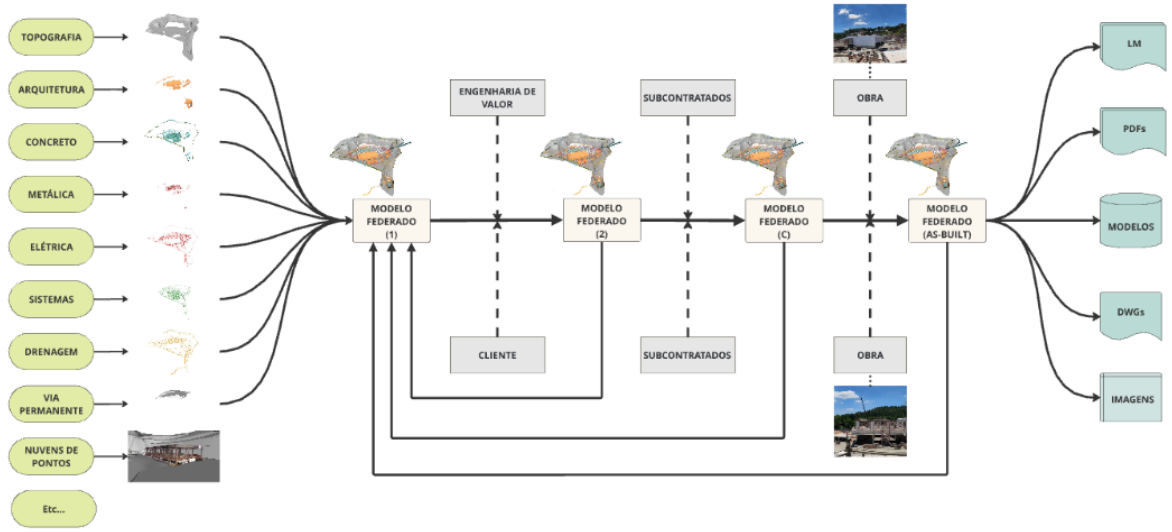
Fonte: Elaborado pelo Autor.

COORDENAÇÃO BIM

Para auxiliar no desenvolvimento desses projetos, são realizados diversos processos de coordenação interdisciplinares ao longo de toda a sua execução do projeto. Onde os modelos BIM de cada disciplina são submetidos a uma análise de interferências com o resto de modelos [7]. Cada modelo é federado com os demais modelos que foram utilizados como *input* para o seu desenvolvimento. Após essa

análise, as interferências identificadas são avaliadas por todos os envolvidos no projeto, incluindo projetistas, equipes de obra, coordenadores, topografia, fabricantes e outros responsáveis, que juntos definem soluções para resolver as interferências detectadas. (Figura 5).

Figura 5: Processo de coordenação BIM no projeto.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

É importante ressaltar que esse processo de coordenação BIM não é um ciclo fechado, à medida que novos modelos são elaborados e disponibilizados, eles são gradualmente federados aos modelos existentes e passam novamente pelo processo de coordenação, resultando em novas decisões. Além disso, esse processo ocorre em várias fases durante a construção, refletindo a natureza dinâmica do projeto. Como resultado da coordenação, são solicitadas alterações nos modelos por parte dos diferentes projetistas e subcontratados para corrigir as interferências detectadas, e assim que esses novos modelos são compartilhados, eles são submetidos a um novo ciclo de análise.

Constatou-se que a eficácia da coordenação BIM está também ligada ao uso de ferramentas e tecnologias que facilitam a comunicação e a visualização das informações. Plataformas de compartilhamento de dados e visualização 3D, por exemplo, permitem que todos os envolvidos no projeto tenham acesso a informações atualizadas e possam colaborar de forma mais eficiente, auxiliando no gerenciamento de interferências, permitindo que as decisões fossem tomadas com base em dados atualizados e integrados.

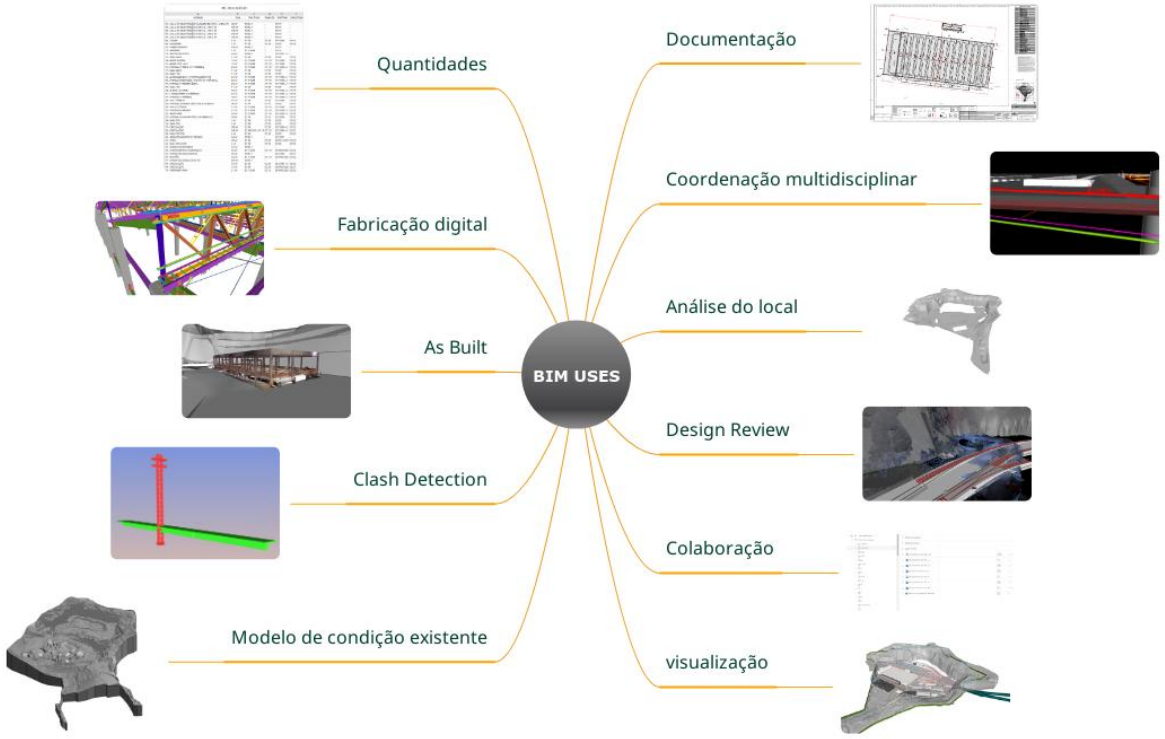
USOS BIM

Devido à grande complexidade de um projeto de infraestrutura, foi necessário inserir diversos usos BIM para apoiar as equipes envolvidas nas fases de projeto, coordenação, fabricação e construção. Esses usos são implementados e atualizados conforme o projeto avança, para que o BIM seja utilizado de maneira mais eficaz, é fundamental compreender o que se espera dos modelos em cada etapa, observar as disciplinas envolvidas, e identificar os melhores usos para atender aos objetivos de todos [8].

Durante o desenvolvimento do projeto do Pátio, foram incorporados alguns usos para auxiliar as equipes na tomada de decisões. Neste artigo, abordaremos os mais significativos, que incluem

Visualização, Design Review e Extração de Quantidades, que juntos deram apoio para que a fabricação digital fosse realizada de forma eficiente. (Figura 6)

Figura 6: Usos BIM Pátio Morro Grande – Linha 6



Fonte: Elaborado pelo Autor.

VISUALIZAÇÃO

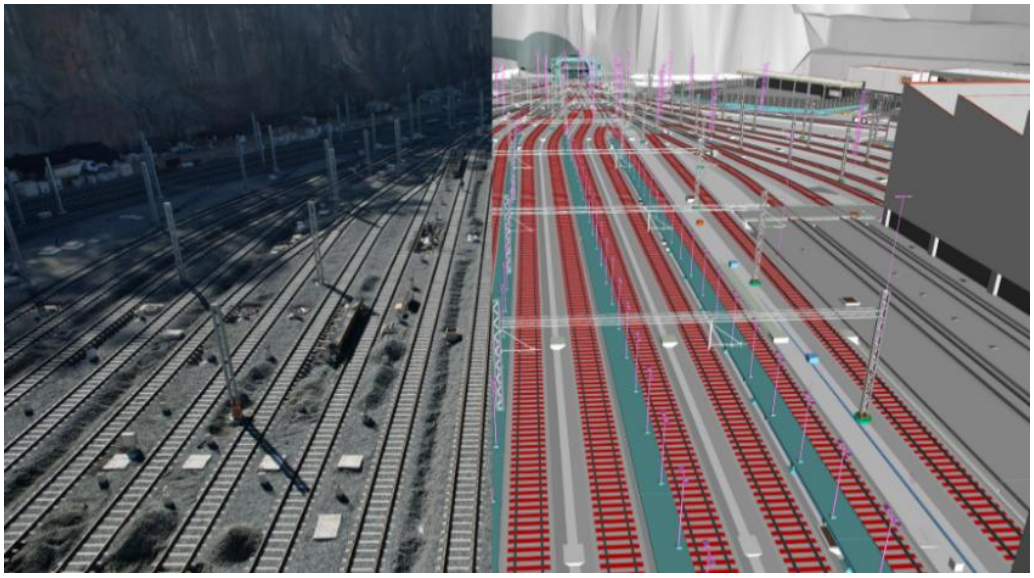
Foi extremamente importante a visualização do projeto, na sua concepção e continua sendo de extrema importância em todas as fases. Isso ajudou a entender e compreender o projeto pelas diferentes e diversificadas equipes de trabalho, acessando as informações geométricas dos elementos, sua localização e dados paramétricos, como dimensões e especificações para fabricação e construção.

Essa abordagem permite, da mesma forma, identificar se um elemento requer *spaceproofing* para instalação, garantindo que todos os aspectos técnicos sejam considerados.

A introdução desse uso foi motivada pela complexidade do projeto, especialmente em relação à sua coordenação e construção.

Um dos principais benefícios da visualização é a capacidade de entender a obra de maneira tridimensional, o que facilita a compreensão do que está sendo construído, uma vez que o modelo 3D é muito mais intuitivo e informativo do que uma planta em 2D, pois permite que as diversas equipes visualizem relações espaciais e detalhes que podem passar despercebidos em representações bidimensionais [9]. (Figura 7).

Figura 7: Obra e modelo BIM



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Além disso, a visualização em BIM promove uma melhor comunicação entre as diferentes disciplinas envolvidas no projeto, a apresentação de informações de forma visual ajuda a alinhar expectativas e a resolver conflitos antes que se tornem problemas durante a construção. Através dos modelos disponibilizados em tempo real no CDE, todos os envolvidos têm uma visão clara do projeto, o que contribui para uma tomada de decisão mais eficiente.

A visualização detalhada desempenha um papel crucial na identificação e resolução de problemas antes do início da construção, evitando retrabalhos e otimizando o tempo. Os diferentes *stakeholders* e equipes podem visualizar, mesmo de diferentes partes do mundo, como seus elementos se integram no espaço, facilitando a coordenação e reduzindo conflitos.

Essa capacidade de visualização proporciona uma melhor compreensão das interações entre os diversos componentes do projeto, resultando em uma execução mais fluida.

As equipes no canteiro de obras conseguem acessar o modelo 3D em computadores, consultando o projeto de maneira clara e precisa (Figura 8). Isso reduz significativamente os erros na interpretação dos desenhos, uma vez que os trabalhadores podem visualizar diretamente como os elementos devem ser instalados e como se relacionam uns com os outros.

Essa prática não apenas melhora a eficiência no canteiro, mas também aumenta a segurança, pois as equipes têm uma compreensão mais completa do ambiente de trabalho e dos riscos associados, contribuindo para um resultado de maior qualidade, aderente ao que foi projetado.

Figura 8: Visualização do modelo BIM no canteiro de obra.

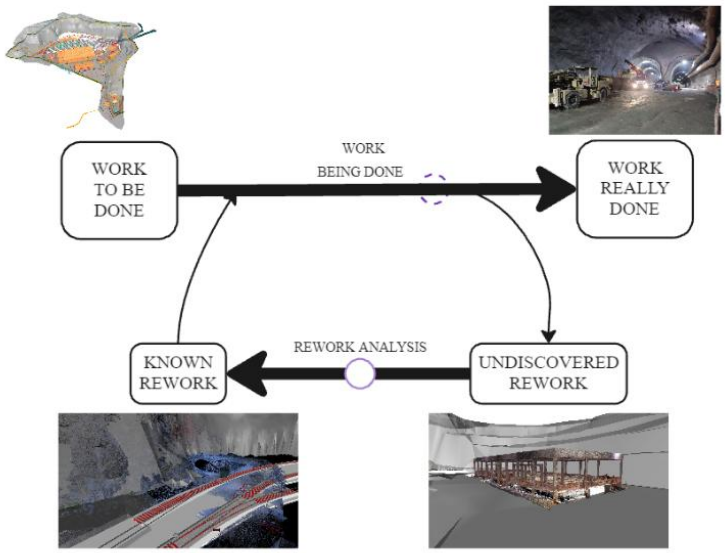


Fonte: Elaborado pelo Autor.

DESIGN REVIEW

O *Design Review* foi incluído como resultado da visualização e análise dos modelos 3D. Durante a etapa de coordenação BIM, quando possíveis interferências foram identificadas, as equipes envolvidas se reuniam para discutir e buscar as melhores soluções. O resultado dessas reuniões proporciona uma retroalimentação contínua para o projeto e a obra, permitindo uma coordenação eficaz, e uma visualização precisa do *As-Built* enquanto o desenvolvimento do projeto progride. (Figura 9)

Figura 9: Processo *Design Review*

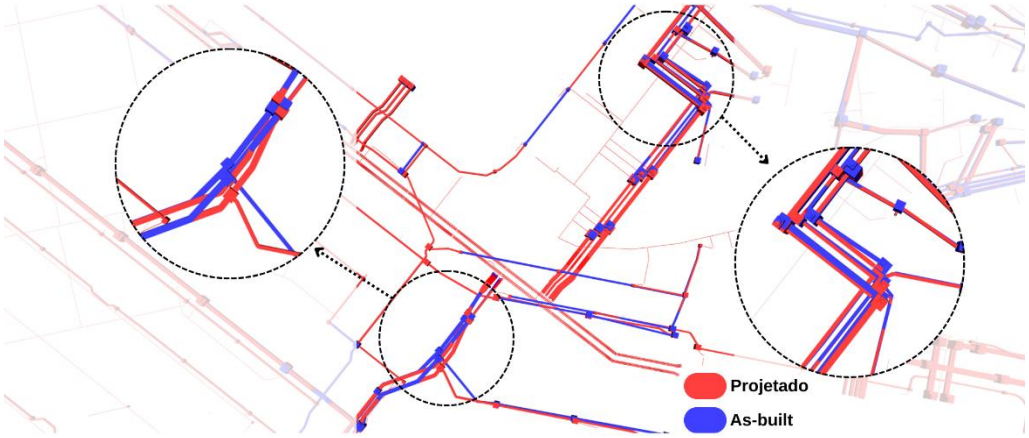


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Conforme a obra avançava, mudanças inevitáveis ocorriam durante o processo de construção devido a decisões tomadas no local e à velocidade dos prazos de construção. A utilização do BIM possibilitou mapear essas alterações e incorporá-las aos modelos *As-Built,* sendo uma ferramenta utilizada para garantir que o projeto reflita as condições reais do canteiro de obras. Com base em levantamentos

topográficos das disciplinas já executadas e nuvens de pontos, as informações provenientes da equipe de obra serviram como *inputs* essenciais para a atualização dos modelos. Dessa forma, o modelo BIM se mantinha em sincronia com as condições reais da construção, garantindo que todos os envolvidos tivessem acesso a informações precisas e atualizadas. (Figura 10)

Figura 10: Visualização do projetado e do As-built no modelo BIM.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Além de permitir a identificação e resolução rápida de problemas, o *Design Review* contribui significativamente para a melhoria da comunicação entre as equipes. Ao alinhar as expectativas e facilitar a colaboração, essa abordagem não apenas reduz retrabalhos e minimiza atrasos, mas também resulta em um projeto final de maior qualidade. A prática de retroalimentação e atualização contínua do modelo assegura que a equipe esteja sempre conectada com as necessidades e condições reais da obra, promovendo um ambiente de trabalho mais eficiente e colaborativo.

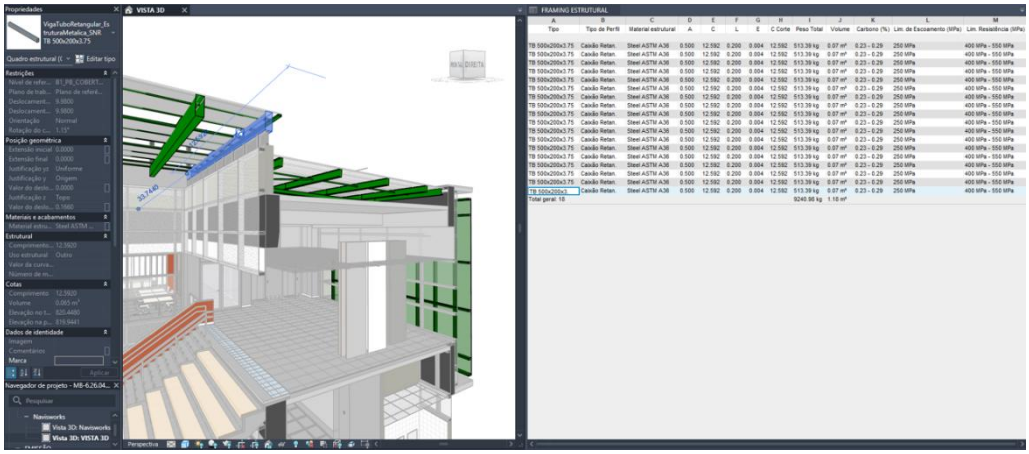
EXTRAÇÃO DE QUANTIDADES

Com a troca de informações entre modelos, é possível extrair quantidades e obter dados sobre materiais e componentes para a obra. Com a fabricação digital, essas informações se expandem, integrando aspectos de tempo, custo, gestão de riscos, sustentabilidade e ciclo de vida do projeto.

A extração de quantidades é realizada de forma precisa e automatizada através dos parâmetros que disponibilizam as informações sobre aquele componente. A fabricação digital aprimora esse processo, fornecendo dados detalhados.

Agora, além de ser possível acessar informações sobre as quantidades de materiais, suas especificações, propriedades e custos associados, com a fabricação digital também é possível acessar as instruções de montagem e fabricação, informações sobre a vida útil daquele componente para planejamento de manutenção preventiva, e informações de impacto ambiental no projeto, tudo isso em um único ambiente digital colaborativo (Figura 11). Essa integração não apenas aumenta a precisão das estimativas, mas também melhora o planejamento, cronograma e a gestão da obra como um todo.

Figura 11: Extração quantidades Estruturas Metálicas



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Devido a magnitude do projeto, o uso do modelo federado para extrair os quantitativos se mostrou ágil e eficaz. Através dos relatórios automatizados e customizáveis, que facilitam a comunicação entre os diferentes envolvidos no projeto, foi possível rastrear e realizar mudanças nas definições de projeto ainda antes da fase de obra e levando em conta a variação dos custos devido a essas mudanças, com antecedência. A extração de quantidades em modelos BIM, aliadas a fabricação digital, representa um avanço significativo na forma como projetos de construção são planejados e executados. A capacidade de integrar informações de tempo, custo, sustentabilidade e risco proporciona uma visão global do projeto, melhorando a eficiência, comunicação e, por consequência, a qualidade final da obra.

CONCLUSÃO

A implementação do BIM no projeto do Pátio de Estacionamento e Manutenção da Linha 6 demonstrou a capacidade transformadora da digitalização e da industrialização no setor da construção. A integração do BIM com tecnologias de fabricação digital otimizou todo o ciclo de vida do projeto, desde o planejamento até a construção e operação [10]. O uso de modelos digitais federados permitiu uma coordenação eficiente entre as disciplinas envolvidas, resultando em uma maior precisão na execução e redução significativa de retrabalhos e atrasos.

A pré-fabricação digital (10D), contribuiu diretamente para a pré-construção, facilitando a montagem ágil de componentes e maximizando a eficiência no canteiro de obras. Esse processo evidenciou que o futuro da construção está intrinsecamente ligado à capacidade de integrar tecnologias avançadas para otimizar custos, cronogramas e a sustentabilidade dos projetos [11].

Por fim, o uso de um Ambiente Comum de Dados garantiu que as informações estivessem centralizadas e acessíveis a todas as partes envolvidas, permitindo uma tomada de decisão mais assertiva e baseada em dados. O sucesso do projeto do Pátio Morro Grande exemplifica como a construção civil pode se beneficiar da adoção do BIM, seus usos e da fabricação digital indicando um caminho promissor para o desenvolvimento de projetos complexos e de grande escala.

REFERÊNCIAS

[1] REY ANTON, P.; SEDÓ, M. CS501522 Line 6 São Paulo Metro Brazil: resuming the largest infrastructure project in LATAM. Autodesk University 2022, 2022. Disponível em:

https://autodeskuniversity.smarteventscloud.com/cap/app/sessions#675219. Acesso em: 11 out. 2024.

[2] CASTRO, L. Aplicação do Building Information Modeling (BIM) em projetos de infraestrutura nas fases pre-completion e/ou post-completion. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Políticas de Infraestrutura) – Universidade XYZ, Brasília, 2019. Acesso em: 11 out. 2024.

[3] EASTMAN, C. M.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. A Guide to Building Information Modelling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 2. ed. [S.l.]: [s.n.], 2018. Acesso em: 11 out. 2024.

[4] ACCA Software. Construção industrializada: conheça o BIM 10D. BibLus, 2023. Disponível em: https://biblus.accasoftware.com/ptb/construcao-industrializada-conheca-o-bim-10d/. Acesso em: 18 out. 2024.

[5] FIÚZA, M.; DALTO, L. Light Steel Frame: Construção Industrializada a Seco para Habitação Popular – Práticas Sustentáveis. 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/269200928_Light_Steel_Frame_Construcao_Industrializada_a_Seco_para_Habitacao_Popular_-_Praticas_Sustentaveis. Acesso em: 18 out. 2024.

[6] KREIDER, R..; MESSNER, J. The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses. Version 0.9. University Park, PA: The Pennsylvania State University, 013. Disponível em: http://bim.psu.edu. Acesso em: 16 out. 2024.

[7] ERSHADI, M.; JEFFERIES, M.; DAVIS, P.; MOJTAHEDI, M. Implementation of Building Information Modelling in infrastructure construction projects: a study of dimensions and strategies. International Journal of Information Systems and Project Management, v. 9, n. 4, p. 43-59, 2021. Disponível em: http://www.sciencesphere.org/ijispm. Acesso em: 11 out. 2024.

[8] Martins, M. Implementação do BIM: Desafios e estratégias para microempresas da indústria AEC / Marllon Christian José Martins; orientadora Natalia Assunção Brasil Silva; coorientador Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira. -- Ouro Branco, 2021. Acesso em: 16 out. 2024.

[9] PENTTILÄ, H. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. ResearchGate, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/282717816_Describing_the_changes_in_architectural_information_technology_to_understand_design_complexity_and_free-form_architectural_expression. Acesso em: 18 out. 2024.

[10] PIASECKIENĖ, G. BIM dimensijos literatūroje: apžvalga ir analizė. Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania, Vilnius Gedimino technikos universitetas, v. 14, art. ID mla.2022.16071, p. 1–11, 2022. Disponível em: file:///C:/Users/abarbettalima/ACCIONA%20S.A/L6%20Brasil%20-%20BIM/AC004%20BIM-ARTIGOS%20E%20PESQUISAS/24%20Era%20BIM%20SINAENCO/BIM%2010D%20PMG/REFERENCIA/TCC_CONSTRU%C3%87%C3%83O%20MODULAR%20EM%20ESTRUTURA%20MET%C3%81LICA%20COM%20ADEQUA%C3%87%C3%83O%20AO%20BIM%2010D_REVISADA.pdf. Acesso em: 18 out. 2024.

[11] THE BIM ENGINEERS. Revolutionizing construction with 10D BIM: The future of Building Information Modeling. 2023. Disponível em: https://thebimengineers.com/blog/view/revolutionizing-construction-with-10d-bim-the-future-of-building-information-modeling. Acesso em: 14 out. 2024.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

IFC para modelagem de informação do planejamento físico e financeiro da construção

IFC for information modeling of construction physical and financial planning

Natália Nakamura Barros | Sondotécnica |natalia.barros.ext@sondotecnica.com.br| 0000-0001-8050-3481
Julio Cesar da Silva Calixto | ARTESP | julio.calixto@artesp.sp.gov.br
Nayara Yokoyama Vieira Kako | ARTESP | nayara.kako@artesp.sp.gov.br
Lucas Melchiori Pereira | USP | lucasmp@usp.br | 0000-0003-0350-0724
Stefania Dimitrov | Sondotécnica | stefania.dimitrov@sondotecnica.com.br | 0009-0003-6330-7499

DOI: 10.5281/zenodo.14478086

Resumo

A necessidade de aumentar a eficiência e a confiabilidade das informações de custo em projetos de arquitetura, engenharia e construção (AEC) enfrenta desafios significativos no processo tradicional, que geralmente envolve medições com base em representações técnicas 2D em pranchas. Nos últimos anos, tem havido um aumento na busca por métodos mais precisos e eficientes para estimar quantidades, especialmente com a adoção de soluções baseadas em BIM, fato evidenciado pelo crescente número de publicações sobre o tema desde 2010. No contexto brasileiro, a adoção do BIM para serviços de orçamentação é considerada estratégica pelos setores público e privado. A produção de orçamentos a partir de Modelos BIM demanda o desenvolvimento de métodos rigorosos que fazem uso de regras computacionais utilizadas para extrair quantidades, como áreas, perímetros e volumes, para garantir que os critérios de medição e remuneração de serviços sejam atendidos conforme as diferentes codificações de composições de custos. O uso do Industry Foundation Classes (IFC) em projetos de AEC está em consonância com o Decreto 10306/2020 e a política do Software Público Brasileiro, que assegura que os dados produzidos e mantidos pelo Estado sejam disponibilizados de maneira universal, sem a necessidade de utilização de softwares proprietários para acessá-los. Além disso, iniciativas de agentes estratégicos, como a Coletânea BIM ARTESP estabeleceram a modelagem dos custos entre as modalidades de prestação de serviços a serem contratadas. O objetivo deste trabalho é verificar as condições do uso do IFC para a modelagem de informação do planejamento físico e financeiro de um modelo de construção genérico. Foi adotado o método de pesquisa operacional para analisar as relações e interfaces entre as partes que compõem o sistema observado, a fim de descrever, entender e aprimorar a integração de um processo de modelagem BIM e orçamentação. A modelagem de informação do planejamento físico e financeiro de uma construção, conforme os parâmetros do IFC, foi realizada com o auxílio de solução de código aberto chamado Bonsai, uma extensão do software Blender especializada em BIM. Foram testadas as seguintes operações de modelagem e classificação de informações do planejamento da construção usualmente empregadas em processos tradicionais: (i) construção do EAP do processo, com a identificação da lista de processos, subprocessos e atividades; (ii) sequenciamento destas atividades, estabelecendo as relações de precedência e paralelismos; (iii) identificação dos recursos necessários para realização das atividades, com a definição de contratações, mão de obra, matéria prima e equipamentos;

(iv) atribuição dos recursos para cada atividade e (v) atribuição de custo para os recursos mobilizados. Como resultado, foi possível verificar que a modelagem IFC permite integrar o modelo de produção e de custos ao modelo. Entretanto, alguns problemas foram verificados na visualização de resultados a partir de diferentes versões do IFC, como na geração do gráfico de Gantt. Conclui-se, portanto, que o uso do IFC para modelagem de informação do planejamento físico e financeiro da construção pode auxiliar a sanar os problemas enfrentados pelos projetistas e orçamentistas ao permitir a criação de um arquivo IFC com informações de planejamento e orçamento integradas às já conhecidas informações geométricas e não-geométricas que identificam os elementos da construção. Além disso, este estudo pode subsidiar diretrizes para elaboração, entrega e auditoria de orçamento em BIM.

Palavras-chave: Formato aberto. *OpenBIM*. IFC. Orçamento. Cronograma físico financeiro.

Abstract

The need to enhance the efficiency and reliability of cost information in architecture, engineering, and construction (AEC) projects faces significant challenges in traditional processes, which typically involve measurements based on 2D technical representations on boards. In recent years, there has been an increase in search for more accurate and efficient methods to estimate quantities, especially with the adoption of BIM-based solutions, as evidenced by the growing number of publications on this subject since 2010. In Brazilian context, the BIM adoption for budgeting services is considered strategic by both public and private sectors. Producing budgets from BIM Models requires the development of rigorous methods that utilize computational rules to extract quantities, such as areas, perimeters, and volumes, to ensure that the measurement and remuneration criteria for services are met according to different codifications of cost compositions. The use of Industry Foundation Classes (IFC) in AEC projects aligns with Decree 10306/2020 and the Brazilian Public Software policy, which ensures that data produced and maintained by the State are made universally available without the need for proprietary software to access them. Additionally, initiatives by strategic agents, such as the BIM ARTESP collection, have established cost modeling among service provision modalities to be contracted. The objective of this work is to verify the conditions for using IFC for modeling information on physical and financial planning of a generic construction model. The operational research method was adopted to analyze the relationships and interfaces between the parts that make up the observed system, to describe, understand, and improve BIM modeling and budgeting process integration. The information modeling of physical and financial planning construction, according to IFC parameters, was carried out with the aid of an open-source solution called Bonsai, an extension of Blender software specialized in BIM. The following modeling and information classification operations of construction planning, usually employed in traditional processes, were tested: (i) WBS construction, with list of processes, subprocesses, and activities identification; (ii) sequencing of these activities, establishing precedence and parallelism relationships; (iii) identification of resources necessary for carrying out activities, with the definition of contracts, labor, raw materials, and equipment; (iv) allocation of resources for each activity; and (v) cost allocation for the mobilized resources. As a result, it was possible to verify that IFC modeling allows the integration of production and cost to model. However, some problems were identified in results visualization from different versions of IFC, such as in generation of the Gantt chart. It is concluded, therefore, the IFC use for information modeling of physical and financial planning of construction can help address the problems faced by designers and budgeters by allowing creation of an IFC file with planning and budgeting information integrated with already known geometric and non-geometric information that identifies construction elements. Furthermore, this study can support guidelines for preparation, delivery, and auditing of BIM budgets.

Keywords: Open format. OpenBIM. IFC. Budget. Physical and Financial Schedule.

INTRODUÇÃO

No contexto brasileiro, a adoção da Modelagem de Informação da Construção (BIM) para serviços de engenharia e arquitetura é considerada estratégica tanto pelo setor privado quanto pelo público. No intuito de promover um ambiente adequado ao investimento em BIM e a sua difusão no País, o governo publicou o Decreto nº 11.888/2024, que dispõe sobre a Estratégia BIM BR [1].

Em 2021, o incentivo ao uso de BIM na Administração Pública ganhou novo impulso, com a inclusão de BIM na Lei de Licitações e Contratos Administrativos – Lei nº 14.133/2021 [2], conforme determina o parágrafo 3º do Art. 19,

nas licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura, sempre que adequada ao objeto da licitação, será preferencialmente adotada a Modelagem da Informação da Construção (Building Information Modelling - BIM) ou tecnologias e processos integrados similares ou mais avançados que venham a substitui-la" [2].

Desta forma, percebe-se que o Governo do Brasil tornou o incentivo ao uso de BIM uma política de Estado, a partir da publicação de decretos e leis que contém, entre outras disposições: a atribuição de significados aos termos BIM e modelo BIM, o delineamento de estratégias de disseminação e critérios para a contratação de serviços de arquitetura e engenharia que devem resultar na entrega de modelos BIM.

A adoção de processos de trabalho baseados em BIM é uma tarefa que exige planejamento, estudo e comprometimento. O esforço e a atenção aos detalhes se tornam ainda mais importantes quando a parte interessada é uma organização do setor público, como é o caso da Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP).

A ARTESP, em um esforço para atender a legislação pertinente e inovar, está trabalhando para estabelecer diretrizes de contratação de serviços em BIM. Este esforço resultou na Coleção BIM ARTESP, cujo primeiro volume é composto por cinco cadernos. As diretrizes foram preparadas para orientar as partes interessadas a promoverem a modelagem de ativos digitais em harmonia com o arcabouço regulatório e normativo federal e estadual relacionado ao BIM e requisitos técnicos previstos em processos licitatórios.

O primeiro volume é composto por cinco cadernos, que apresentam (1) introdução e conceitos, (2) contratação de serviços em BIM, (3) diretrizes para a elaboração de modelos BIM, (4) diretrizes para a auditoria dos serviços prestados em BIM e (5) diretrizes para orçamentação com base em modelos BIM. O presente artigo apresenta uma prova de conceito inicial que integra parte dos estudos feitos para verificar a aplicação de BIM em serviços previstos nas diretrizes para orçamentação em BIM.

ORÇAMENTAÇÃO EM BIM

A necessidade de aumentar a eficiência e a confiabilidade das informações de custo em projetos de arquitetura, engenharia e construção (AEC) enfrenta desafios significativos no processo tradicional, que geralmente envolve medições com base em representações técnicas em pranchas. Esse método resulta em um esforço manual considerável para a obtenção de estimativas detalhadas, o que pode aumentar o risco de erros humanos [3,4,5]. Como o processo de estimativa se baseia em aproximações das quantidades de insumos, mão de obra e equipamentos necessários para a execução do projeto, uma análise inadequada dos documentos pode afetar o cálculo dos custos, afastando-se da realidade da execução [6].

Nos últimos anos, tem havido um aumento na busca por métodos mais precisos e eficientes para estimar quantidades, especialmente com a adoção de soluções baseadas em BIM, como evidenciado pelo crescente número de publicações sobre o tema desde 2010 [4]. As aplicações do BIM abrangem uma variedade de abordagens, desde o levantamento de quantidades até a definição de riscos de custos excedentes e o desenvolvimento de novos métodos de estimativa que envolvem automação e simulação [7,8]. Diversos estudos confirmaram a viabilidade do uso de soluções comerciais para orçamentação em BIM, destacando melhorias significativas no desempenho [9,10,11,12,13]. Contudo, profissionais do setor da AEC relataram dificuldades em aproveitar plenamente o potencial do BIM, devido às limitações impostas por softwares proprietários [14].

Com o aumento da adoção de formatos de arquivos abertos normatizados, também se observa uma crescente disponibilidade de softwares abertos para o setor da construção civil, o que abre novas perspectivas para a transição digital das indústrias de AEC. De acordo com o Decreto 10.306/2020, é exigido que os modelos BIM sejam entregues em formatos eletrônicos abertos (não-proprietários), além de outros formatos que podem ser especificados pelo contratante [15]. Esta exigência está em consonância com a política do Software Público Brasileiro [16], que assegura que os dados produzidos e mantidos pelo Estado sejam acessíveis de maneira universal, sem a necessidade de utilização de softwares proprietários para acessá-los. Uma das medidas setoriais adotadas pelas indústrias da construção civil e da gestão predial (*facilities*) é a implementação da norma ISO que padroniza o esquema de dados conhecido como *Industry Foundation Classes* (IFC) [17].

O objetivo deste trabalho é, portanto, verificar o uso do IFC para a modelagem de informação do planejamento físico e financeiro.

MÉTODO

Como se trata de um estudo de aplicação prática de ferramenta em um modelo de processo novo, foi adotada a pesquisa operacional como método para analisar as relações e interfaces entre as partes que compõem o sistema observado [18], o que permitiu promover diretrizes adequadas aos critérios normativos e às condições de operacionalização existentes com base na generalização das evidências obtidas neste e demais casos estudados (*Evidence Based-Design*: EBD) [19]. Tal método foi aplicado para descrever, entender e aprimorar um processo de integração da modelagem BIM e práticas da orçamentação.

MODELAGEM DA SOLUÇÃO

A análise dos procedimentos para a modelagem de informação do planejamento físico e financeiro de uma construção foi iniciada com a modelagem IFC realizada em um software aberto denominado Blender BIM. Neste software foram testadas algumas operações de modelagem e classificação de informações do planejamento da construção usualmente empregadas em processos tradicionais. Em especial, a modelagem de IFC permite integrar o modelo de produção e de custos ao modelo.

Foram testadas a seguintes operações:

- 1ª operação: construção do EAP do processo, com a identificação da lista de processos, subprocessos e atividades;
- 2ª operação: sequenciamento destas atividades, estabelecendo as relações de precedência e paralelismos;
- 3ª operação: identificação dos recursos necessários para realização das atividades, com a identificação e definição de propriedades das contratações, mão de obra, matéria prima e equipamentos;
- 4ª operação: atribuição dos recursos para cada atividade;
- 5ª operação: atribuição de custo para os recursos mobilizados.

Por meio da conclusão deste sequenciamento de operações, entende-se que seja possível determinar um marco de operação do cronograma físico e financeiro norteador para subsidiar diretrizes para elaboração, entrega e auditoria de orçamento em BIM.

RESULTADOS

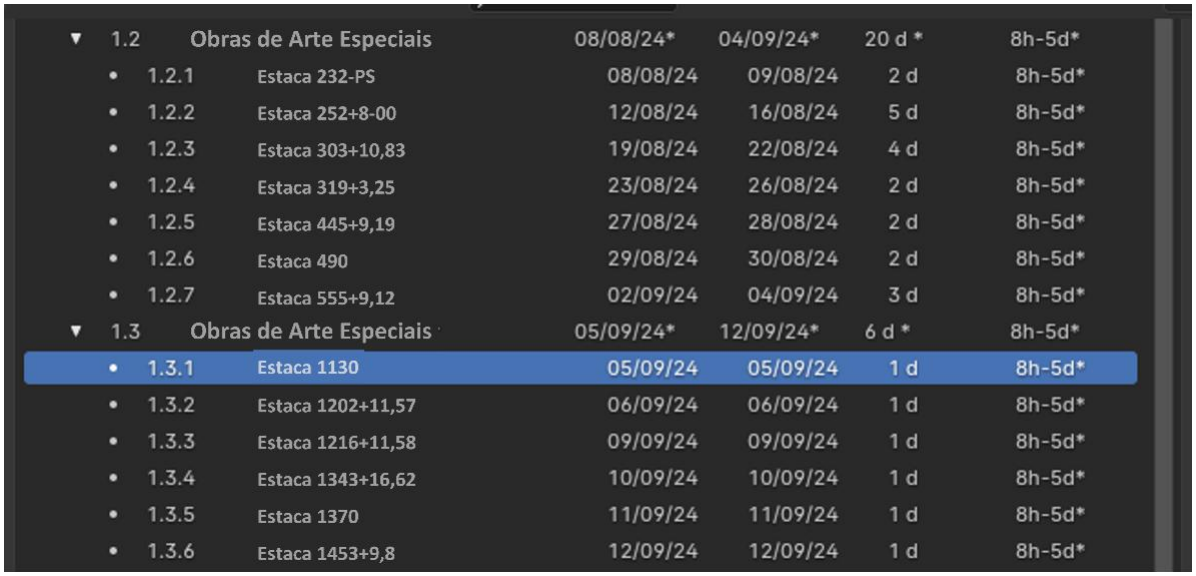
Como resultado, foi possível verificar que a modelagem IFC permite integrar o modelo de produção e de custos ao modelo. Entretanto, alguns problemas foram verificados na visualização de resultados a partir de diferentes versões do IFC, como na geração do gráfico de Gantt.

MODELO SIMPLIFICADO

No caso genérico, foi utilizado um modelo simplificado, modelado experimentalmente no BlenderBIM. Este modelo contava com um número limitado de elementos construtivos.

Em um campo do software designado para modelar as etapas de um processo foram estruturadas etapas de execução. Assim como ocorreu com o modelo, o planejamento das etapas de execução foi simplificado, estabelecendo-se uma correlação direta entre elemento e atividades. A Figura 1 apresenta esta estrutura já hierarquizada e sequenciada.

Figura 1- modelagem simplificada das etapas de execução

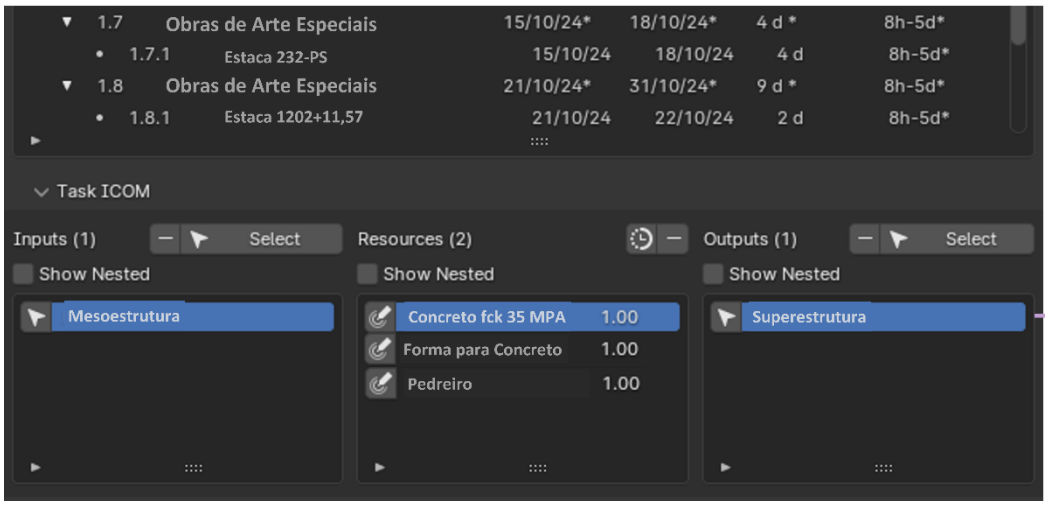


▼ 1.2	Obras de Arte Especiais	08/08/24*	04/09/24*	20 d *	8h-5d*
• 1.2.1	Estaca 232-PS	08/08/24	09/08/24	2 d	8h-5d*
• 1.2.2	Estaca 252+8-00	12/08/24	16/08/24	5 d	8h-5d*
• 1.2.3	Estaca 303+10,83	19/08/24	22/08/24	4 d	8h-5d*
• 1.2.4	Estaca 319+3,25	23/08/24	26/08/24	2 d	8h-5d*
• 1.2.5	Estaca 445+9,19	27/08/24	28/08/24	2 d	8h-5d*
• 1.2.6	Estaca 490	29/08/24	30/08/24	2 d	8h-5d*
• 1.2.7	Estaca 555+9,12	02/09/24	04/09/24	3 d	8h-5d*
▼ 1.3	Obras de Arte Especiais	05/09/24*	12/09/24*	6 d *	8h-5d*
• 1.3.1	Estaca 1130	05/09/24	05/09/24	1 d	8h-5d*
• 1.3.2	Estaca 1202+11,57	06/09/24	06/09/24	1 d	8h-5d*
• 1.3.3	Estaca 1216+11,58	09/09/24	09/09/24	1 d	8h-5d*
• 1.3.4	Estaca 1343+16,62	10/09/24	10/09/24	1 d	8h-5d*
• 1.3.5	Estaca 1370	11/09/24	11/09/24	1 d	8h-5d*
• 1.3.6	Estaca 1453+9,8	12/09/24	12/09/24	1 d	8h-5d*

Fonte: os autores.

Na Figura 2, destaca-se os *inputs*, recursos e *outputs* necessárias para a execução da estaca. No exemplo está indicado que a execução da superestrutura da Estaca 1130 tem como *input* a mesoestrutura. Indica ainda a atribuição de três recursos: concreto, forma para concreto e pedreiro. Como *output*, está indicada a superestrutura.

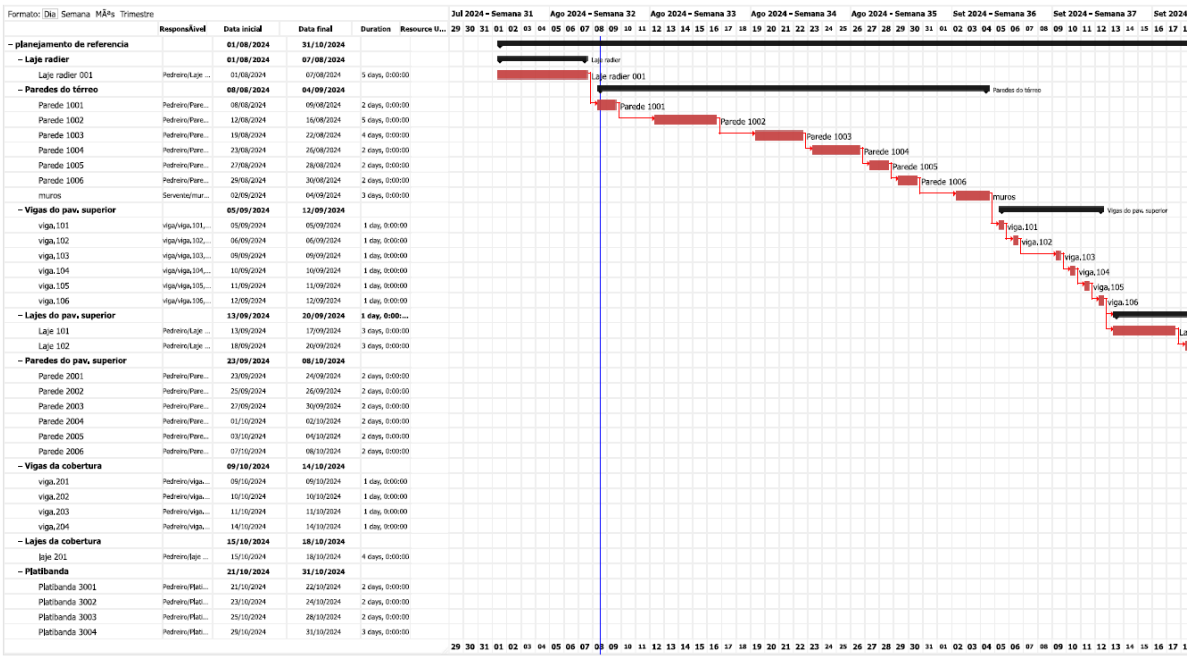
Figura 2 - atribuição de recursos a atividade



Fonte: os autores.

Outra forma de visualização possível mais convencional é o gráfico de Gantt, que pode ser gerado a partir do modelo do processo no IFC (Figura 3). A modelagem de informação da construção, compreendida como um sistema de banco de dados baseado em classes em vez de SQL, permite formular respostas específicas como uma programação de InforVis, desde que os dados estejam adequadamente classificados. Identificou-se que a estrutura de classificação do IFC 2X3 inviabiliza a produção do gráfico de Gantt e animação das etapas, em razão de uma mudança de hierarquia das classes observada entre as versões, utilizadas na classificação do processo.

Figura 3 - parte do gráfico de Gantt gerado do modelo de processo do IFC



Fonte: os autores.

A formulação inicial do teste visou identificar meios de registro de informações relacionadas a sequencialmente de atividades, com atribuição de precedências vinculadas aos objetos modelados. Também confirmou a viabilidade de modelar os recursos necessários para o planejamento. Observou-

se meios para inserir um objeto não geométrico que identifica o recurso humano “Pedreiro”. Este contém propriedades típicas de produtividade, que podem ser previstas ou medidas. Uma vez inserida no modelo, tal produção interfere no tempo de execução da atividade.

A perspectiva de utilizar a modelagem do processo e dos recursos de um projeto levou a equipe de pesquisa e desenvolvimento envolvida a iniciar outro estudo, com um modelo de construção existente, para reproduzir o planejamento no modelo.

CONCLUSÃO

O estudo testou o potencial do IFC para modelar informações de planejamento físico e financeiro em BIM. Utilizou para tanto apenas ferramentas de código aberto como o *plug-in* Bonsai do Blender. A simulação de uma abordagem prática para criar e gerenciar dados de projetos de construção, incluindo o desenvolvimento da EAP, sequenciamento de atividades, alocação de recursos e atribuição de custos permitiu delimitar a exequibilidade da modelagem com a classificação IFC e software disponível.

Observou, neste estudo, que existem problemas de compatibilidade entre versões do IFC, o que reforça a importância do desenvolvimento de uma ISO de compatibilização, atualmente em desenvolvimento. Outro desafio corresponde à qualidade da exportação de modelos proprietários para IFC. Além do modelo elaborado para o estudo, que foi produzido nativamente em IFC, outros modelos mais complexos de fundações e estruturas foram testados e ainda não se identificou nenhum elemento que não possa ser documentado no IFC.

A capacidade de vincular a modelagem do processo e dos recursos à representação física da obra de arte especial em um único arquivo IFC, aumenta a transparência e confiabilidade da informação. A qualidade da informação, todavia, depende do aprimoramento da colaboração entre projetistas, orçamentistas e demais partes interessadas, com a definição mais clara de requisitos do projeto para entregas do modelo, ajustadas às necessidades do cliente. A produção da Coleção BIM ARTESP responde a esta demanda.

O presente estudo subsidiou o desenvolvimento das diretrizes para elaboração, entrega e auditoria de orçamento em BIM, que compuseram a Coleção BIM ARTESP, ao mapear os meios para modelagem de custos em um caso esquemático, o que orientou outros estudos de casos reais. De forma mais abrangente, os resultados obtidos contribuíram para o crescente corpo de conhecimento que apoia a adoção do *OpenBIM* e IFC para uma gestão abrangente de projetos, baseada na troca de dados e na colaboração. A integração da modelagem física e da modelagem de custos em IFC favorece a tomadas de decisão mais informadas, melhor controle de custos e maior sucesso do projeto.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. Decreto no 11.888, de 22 de janeiro de 2024. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2024.

[2] BRASIL. Lei no 14.133, de 1o de abril de 2021. Brasília: Diário Oficial da União, 2021.

[3] AL-MUSAWI, R.; NAIMI, S. Evaluation of Construction Project’s Cost Using BIM Technology. Mathematical Modelling of Engineering Problems, v. 10, n. 2, p. 469–476, 28 abr. 2023.

[4] SEPASGOZAR, S. M. E. *et al.* BIM and Digital Tools for State-of-the-Art Construction Cost Management. Buildings, v. 12, n. 4, p. 396, 24 mar. 2022.

[5] VILLASCHI, F. S.; CARVALHO, J. P.; BRAGANÇA, L. BIM-Based Method for the Verification of Building Code Compliance. Applied System Innovation, v. 5, n. 4, p. 64, 30 jun. 2022.

[6] MATTOS, A. D. Como Preparar Orçamentos de Obras. 3a edição ed. [s.l.] Editora Oficina de Textos, 2019.

[7] BABATUNDE, S. O. *et al.* An investigation into BIM-based detailed cost estimating and drivers to the adoption of BIM in quantity surveying practices. Journal of Financial Management of Property and Construction, v. 25, n. 1, p. 61–81, 23 nov. 2019.

[8] LAWRENCE, M. *et al.* Creating flexible mappings between Building Information Models and cost information. Automation in Construction, v. 45, p. 107–118, set. 2014.

[9] MENDONÇA, K. R. M.; SOUSA, P. G. DE; GUEDES, E. DE S. R. Orçamentação de obra: análise comparativa entre metodologia tradicional e BIM. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 11, p. 93096–93119, 2020.

[10] DE SOUSA CHECCUCCI, E.; PEREIRA, A. P. C.; DE AMORIM, A. L. Uma visão da difusão e apropriação do paradigma BIM no BRASIL – TIC 2011. Gestão e Tecnologia de Projetos, v. 8, n. 1, p. 19–39, 2013.

[11] WITICOVSKI, L. C.; EMILIA, L.; GARCIA, M. A utilização do BIM em projetos de construção civil. v. 55, n. 48, 2009.

[12] PEREIRA, L. M. *et al.* Estudo exploratório comparativo da eficácia entre protótipos físico, analítico 2D e 3D na identificação de inconsistências de projetos. Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 10, n. 1, p. 28, 2015.

[13] SANTOS, A. P. L.; ANTUNES, C. E.; BALBINOT, G. B. Levantamento de Quantitativos de Obras: Comparação entre o Método Tradicional e Experimentos em Tecnologia BIM. Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, v. 6, n. 12, p. 134–155, 2014.

[14] DAY, M. The Open Letter to Autodesk: two years on. AEC Magazine, 12 set. 2022. Disponível em: <https://aecmag.com/bim/the-open-letter-two-years-on/>. Acesso em: 20 jun. 2024

[15] BRASIL. Decreto No 10.306, de 2 de abril de 2020. . 2020.

[16] MGI, M. DA G. E DA I. EM S. P. Software Público. Disponível em: <https://www.gov.br/governodigital/pt-br/plataformas-e-servicos-digitais/software-publico/software-publico-1>. Acesso em: 19 jun. 2024.

[17] ABNT, A. B. DE N. T. ABNT NBR ISO 16739-1: Industry Foundation Classes (IFC) para o compartilhamento de dados pelas indústrias da construção e da gestão de facilities - Parte 1: Esquema de dados. Rio de Janeiro. ABNT, , 2023.

[18] HOWICK, S.; ACKERMANN, F. Mixing OR methods in practice : Past , present and future directions. European Journal of Operational Research, v. 215, n. 3, p. 503–511, 2011.

[19] PEREIRA, L. M.; ORNSTEIN, S. W. A Systematic Literature Review on Healthcare Facility Evaluation Methods. HERD: Health Environments Research & Design Journal, v. 16, n. 3, p. 338–361, 8 jul. 2023.

[20] KRISHNASWAMY, K. N.; SIVAKUMAR, A. I.; MATHIRAJAN, M. Management Research Methodology: Integration of Principles, Methods and Techniques. [s.l: s.n.].

[21] KOTHARI, C. R. Research Methodology: Methods & Techniques. 2. ed. Nova Delhi: New Age International Publishers, 2004. v. 6

[22] NETO, R. M.; PUREZA, V. Modelagem e Simulação. Em: MIGUEL, P. A. C. (Ed.). Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. 2a ed. Rio de Janeiro: Elsevier Ltd, 2012. p. 169–198.

[23] MINGERS, J.; WHITE, L. A review of the recent contribution of systems thinking to operational research and management science. European Journal of Operational Research, v. 207, n. 3, p. 1147–1161, 2010.

[24] BOWEN, K. Sixty years of Operational Research. European Journal of Operational Research, v. 153, n. 3 SPEC. ISS., p. 618–623, 2003.

[25] PATI, D. A framework for evaluating evidence in evidence-based design. Herd, v. 4, n. 3, p. 50–71, 2011.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Implementação BIM na Geribello Engenharia

BIM implementation in Geribello Engenharia

Bianca Languidi | Geribello Engenharia| bianca.languidi@geribello.com.br
Giovani Costa | Geribello Engenharia |giovani.costa@geribello.com.br| 0009-0008-1191-2669
Kesia Silva | Conexão BIM | kesia@alvesespindola.com
Larissa Araújo | Consultores BIM | laaraujo@ufscar.br| 0000-0003-0574-583X
José Carlos Lino | Consultores BIM | jclino@consultoresbim.com.br| 0000-0002-1227-600X

DOI: 10.5281/zenodo.14478138

Resumo

O BIM no Brasil encontra-se em fase de consolidação, com uma estratégia pública de adoção estabelecida pelo governo federal desde 2018. Esta estratégia vem sendo complementada e consolidada com peças legislativas, como o Decreto 10306 que estabelece a utilização do BIM na execução de obras e serviços de engenharia pela administração pública federal [1], ou mesmo a nova Lei das Licitações [2], que determina uma preferência para que as consultas e entregas nas concorrências públicas se façam em BIM. É neste enquadramento que a empresa encarou a necessidade de integrar a metodologia BIM nos seus processos habituais. Foi elaborado um plano de trabalho contemplando duas etapas: nivelamento e planejamento. A etapa de nivelamento visava efetuar uma equiparação de conhecimentos entre os participantes, abrangendo a realização de pesquisas e encontros para apresentação e discussões. Já a de planejamento foi estabelecida sobre um Canvas, em que se contemplou a avaliação e definição dos objetivos e estratégias, os recursos necessários, mas também os riscos, com vistas a obter sucesso numa implementação efetiva. Durante as discussões para formulação do planejamento, constatou-se a necessidade de contratação de consultoria especializada em implementação de BIM para apoiar o processo. Foram avaliadas diversas empresas e consultores de referência no mercado, optando-se pela Consultores BIM, por sua metodologia e proposta diferenciada. Do trabalho conjunto entre o grupo de trabalho BIM (GT BIM) e a Consultores BIM, definiu-se uma metodologia de implementação essencialmente regulada por duas fases: a fase de diagnóstico e a fase de planejamento da execução. A primeira fase do trabalho consistiu no diagnóstico de maturidade, e a segunda fase abrangeu a elaboração do plano de implementação. Realizou-se um diagnóstico para identificar o posicionamento dos colaboradores em relação à temática e implicações de mudança que ela acarreta. Com os resultados recolhidos, preencheu-se uma matriz de maturidade, organizada segundo as quatro dimensões convencionadas (Políticas, Pessoas, Processos e Tecnologia). Em seguida, foi elaborado um Plano de Implementação BIM que, a partir de todos os dados recolhidos durante o diagnóstico, e para cada uma das dimensões, estabeleceu-se ações no tempo e com indicadores de desempenho. A partir desta metodologia, iniciaram-se dois projetos-piloto com os objetivos de teste e aprendizado, em paralelo ao programa de capacitação dos colaboradores. Com isso, confirmou-se que não existem receitas pré-concebidas para uma Implementação BIM. Foi notória a necessidade de adaptação dinâmica da metodologia e dos processos, dependendo da cultura, do ambiente e até das equipes envolvidas. Pela adesão dos colaboradores, por seus testemunhos e pelo modo como esta iniciativa foi acolhida, constata-se que a temática BIM é muito atual, desperta o interesse pessoal e a vontade de saber mais. O modo estruturado como a implementação foi preparada facilitará as avaliações regulares e permitirá medir o nível de evolução a qualquer momento bem como a readequação dos objetivos e metas. Poderá também servir de exemplo a outras empresas ou entidades que visem esta metodologia para uma transição digital moderna e eficaz.

Palavras-chave: Implementação. Gestão de Projetos. Setor Público. Desafios. Gerenciadora.

Abstract

BIM in Brazil is in a consolidation phase, with a public adoption strategy established by the central government since 2018. This strategy has been complemented and consolidated with legislative pieces such as Decree 10306 that establishes the use of BIM in the execution of works and engineering services by the federal public administration, or even the new Bidding Law that establishes a preference for public tenders to be consulted and delivered in BIM. It is in this context that the company faced the need to integrate the BIM methodology into its processes. A work plan was prepared, contemplating two stages: leveling and planning. The leveling stage aimed to equalize the participants' knowledge, including research and meetings for presentation and discussions. The planning stage was established on a Canvas, which contemplated the evaluation and definition of objectives and strategies, the necessary resources, but also the risks, with a view to achieving success in an effective implementation. During the discussions for the formulation of the planning, it was found that there is a need to hire specialized consultants in BIM implementation to support the process. Several companies and reference consultants in the market were evaluated, opting for BIM Consultants, for its methodology and differentiated proposal. From the joint work between GT BIM and BIM Consultants, an implementation methodology was defined essentially regulated by two phases: the diagnostic phase and the planning phase of the execution. The first phase of the work consisted in the maturity diagnosis, and the second phase involved the elaboration of the implementation plan. A diagnosis was carried out to identify the employees' position in relation to this issue and the implications of change that it entails. With the collected results, a maturity matrix was filled, organized according to the four agreed dimensions (Policies, People, Processes and Technology). Then, a BIM Implementation Plan was developed that, from all the data collected during the diagnosis, and for each of the dimensions, establishes actions in time and with performance indicators. From this methodology, two pilot projects were initiated with the purpose of testing and learning, in parallel to the training program. This confirmed that there are no pre-conceived recipes for a BIM Implementation. There was a need for dynamic adaptation of the methodology and processes, depending on the culture, environment and even the teams involved. By the adherence of employees, their testimonies and the way this initiative was welcomed, it is noted that this BIM theme is very current, and arouses personal interest and desire to know more. The structured way this implementation was prepared will facilitate regular evaluations and allow to measure the level of implementation at any time as well as the readjustment of objectives and goals. It can also serve as an example to other companies or entities that aim for this methodology for a modern and effective digital transition.

Keywords: Implementation. Project Management. Public Sector. Challenges. Management.

INTRODUÇÃO

Fala-se de macro adoção do BIM no Brasil há mais de uma década. Inicialmente abordado em iniciativas acadêmicas e de pesquisa, passou a ser encontrado em empresas e profissionais vanguardistas, mas principalmente em sistemas de nicho. O setor privado, mais ágeis que o setor público, foram os pioneiros, mas rapidamente os poderes federal, estadual e municipal responderam com iniciativas consistentes. Uma grande quantidade de manuais, documentos de apoio, regulamentos e mesmo decretos-lei podem ser encontrados facilmente hoje em dia e ajudam a fomentar adoção do BIM no Brasil.

Não há dúvidas que estas iniciativas do setor privado serviram de catalisador para opúblico, que não encara mais a transição para o BIM como uma opção senão uma inevitabilidade, especialmente aqueles que têm clientes que já estão a demandar projetos e obras em BIM. Todavia, é importante ressaltar que a transição para o digital e para o BIM em particular custa tempo, recursos e, talvez o mais importante, exige o envolvimento das pessoas e as impulsiona a saírem da zona de conforto.

A Geribello Engenharia, gerenciadora reconhecida no mercado, buscando manter a liderança e vanguardismo na sua atuação, decidiu em 2022 investir na implementação do BIM efetivamente, depois de uma iniciativa experimental anos antes. Assim, a primeira ação tomada pela empresa foi

constituir um grupo de trabalho BIM que foi encarregado de desenvolver e implantar uma estratégia de transição para o BIM de modo sistêmico.

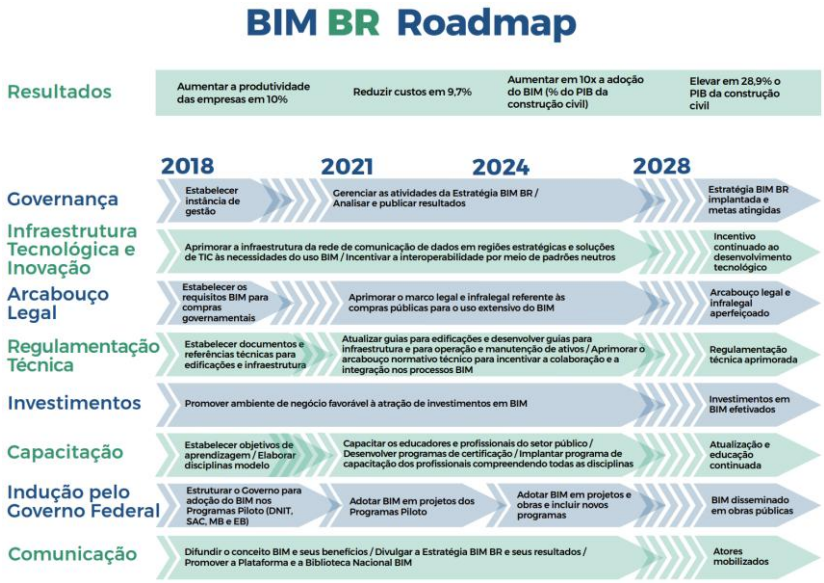
Neste artigo, após um enquadramento da situação do BIM no Brasil e da apresentação da Geribello, apresenta-se toda a preparação e planejamento que esse grupo de trabalho BIM concebeu e elaborou, bem como o desenvolvimento que se seguiu e que culminou numa implementação estruturada do sistema, com o apoio de uma consultoria especializada, atendendo às principais dimensões da organização (Políticas, Pessoas, Processos e Tecnologias) e que segue os passos de adoção convencionados: Diagnóstico de Maturidade, Plano de Implementação BIM, Treinamentos e Capacitações e Projetos Piloto.

Ao final, são compiladas as principais conclusões encontradas, perante resultados atingidos.

O BIM NO BRASIL

O BIM no Brasil encontra-se atualmente em fase de consolidação, com uma estratégia pública de adoção estabelecida pelo governo central desde 2018 [1] (Figura 1).

Figura 1: Roadmap da Estratégia BIM BR



Fonte: Roadmap da Estratégia BIM BR [1]. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/building-information-modelling-bim/26-11-2018-estrategia-BIM-BR-2.pdf. Acesso em 21/10/2024.

Esta estratégia vem sendo complementada e consolidada com peças legislativas, como o Decreto 10306 que estabelece a utilização do BIM na execução de obras e serviços de engenharia pela administração pública federal [2], ou mesmo a nova Lei das Licitações [3], que estabelece uma preferência para que as consultas e entregas nas concorrências públicas se façam em BIM.

Vários estados brasileiros têm incorporado este espírito de fomento à implementação BIM, seja a nível Estadual ou de algumas secretarias especiais, das quais Santa Catarina [4], Paraná ou Minas Gerais podem ser considerados exemplos a seguir. Na esfera municipal, o cenário é similar. Já se podem encontrar exemplos de iniciativas locais que começam a demandar e a regular a entrega em BIM para os seus projetos e obras, como é o caso da Prefeitura de São Paulo, em especial da Secretaria Municipal da Habitação, que exigem já na contratação [5], ou nas regras para modelação [6].

Outros grandes clientes públicos têm começado a exigir que o projeto, construção e operação dos seus equipamentos e ativos construídos, seja baseado em BIM, como o FNDE – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação [7] e o DNIT- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes [8]. Entretanto, mesmo com a empolgação e engajamento do setor público à adoção do BIM, há ainda alguns passos a evoluir. O BIM FORUM Brasil e a ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial criaram uma pesquisa nacional em que identificam o nível de adoção entre os profissionais e empresas, mas também as suas percepções e as principais barreiras que lhe estão associadas, criando um excelente documento de reflexão e apoio [9].

É neste enquadramento que a Geribello encarou a necessidade de integrar a metodologia BIM aos seus processos habituais.

GERIBELLO ENGENHARIA

Fundada em 1979 pelo Engenheiro Marcos Geribello, a Geribello Engenharia é uma empresa de engenharia consultiva com uma significativa atuação no mercado brasileiro, dispondo de um acervo técnico multifacetado e abrangente, contando com mais de 300 colaboradores (Figura 2). Em 2021, o fundador iniciou o processo de profissionalização da empresa, com o objetivo de garantir a perpetuação da Geribello e a adoção das melhores práticas de governança, o que resultou numa estrutura organizacional moderna, setorizada, capaz de responder aos desafios de mudança e adaptação solicitados pelo mercado. Uma das características marcantes da Geribello é o seu DNA de inovação e de valorização das pessoas, que está materializado na identidade da empresa (Figura 3).

Da multiplicidade dos serviços que a Geribello presta, quer no setor público quer no privado, destacam-se:

- gerenciamento de empreendimentos
- levantamentos topográficos
- supervisão/fiscalização de projeto e obras
- regularização fundiária
- gestão socioambiental
- estudos mercadológicos
- modelagem de PPP e Concessões
- inspeção acreditada de projetos e obras

Figura 2: Linha do Tempo da Geribello Engenharia.



Fonte: Geribello Engenharia.

Figura 3: Identidade da Geribello.



Fonte: Geribello Engenharia.

A gerenciadora atua numa ampla gama de setores da construção civil, abrangendo 8,5 milhões de m² de edificações, 3,5 mil km de rodovias e 153 km de metros e ferrovias. Atualmente tem uma carteira com mais de 20 contratos, atendendo importantes clientes como a CDHU - Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo, a FDE - Fundação para o Desenvolvimento da Educação, o Metrô - Companhia do Metropolitano de São Paulo a CPTM - Companhia Paulista de Trens Metropolitanos e o DER - Departamento de Estradas de Rodagem, entre outros.

GRUPO DE TRABALHO BIM

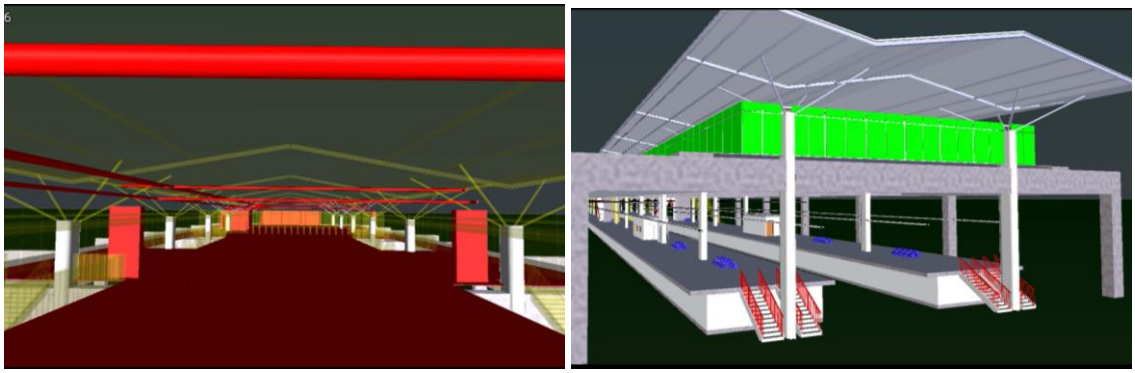
EXPERIÊNCIA AVULSA

Sendo a inovação um conceito enraizado na cultura da Geribello Engenharia, ela já acompanhava o amadurecimento do BIM no mundo e no Brasil, avaliando a aplicação de seus potenciais usos aos nichos de serviços onde opera. Assim, em 2015, a empresa efetuou sua primeira incursão diretamente no tema, realizando sua primeira modelagem em BIM, com o objetivo aprimorar o acompanhamento de cronogramas das obras da construção da Estação Engenheiro Goulart da CPTM (Figura 4).

A modelagem da edificação permitiu a identificação de diversos conflitos das diferentes disciplinas de projeto. Além disso, a experiência de acompanhamento do cronograma de obras foi enriquecedora, permitindo que todos os participantes do empreendimento (cliente, construtora, supervisora, agentes governamentais) tivessem plena consciência do estágio de avanço das obras através da materialização, de forma gráfica e visual, dos pontos e serviços com divergência em relação ao planejamento.

Tal instrumento contribuiu fortemente para melhor organizar o processo de fornecimento de materiais, além da realização de planos de ação, visando a recuperação dos atrasos de execução.

Figura 4: Modelação para acompanhamento de cronograma a) Semana 56 b) Semana 82.



Fonte: Geribello Engenharia.

Naquele momento, em função do processo estar bastante incipiente no Brasil, dos custos envolvidos na implementação do BIM e da baixa competência sobre o tema, a Geribello optou por seguir monitorando o desenvolvimento da metodologia, mas sem aplicação direta em seus demais contratos.

PREPARAÇÃO E NIVELAMENTO

Com o passar do tempo, perante o aumento da maturidade do mercado, o desenvolvimento tecnológico, as novas legislações, os ganhos com otimização dos processos de trabalho, a redução de falhas em projetos e obras, entre outros benefícios, emergiu a necessidade interna de avançar na implementação da metodologia BIM. No entanto, existiu a consciência que os serviços prestados pela Geribello não são padronizados, que os órgãos públicos e privados não estão plenamente familiarizados com a tecnologia e que ainda existem poucos contratos com uso do BIM para estimular e desenvolver a capacitação interna. É neste cenário que, em 2022, a empresa decide iniciar um processo estruturado e transversal de implementação do sistema em seus contratos.

Inicialmente, como forma de estimular o interesse das pessoas ao assunto, realizou-se um convite amplo a todos os colaboradores convidando-os a participarem do Seminário “A Era BIM – 2022”, promovido pelo SINAENCO - Sindicato Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultiva. Participaram mais de 25 profissionais da empresa.

Após o evento, iniciou-se a etapa de preparação da implementação BIM, com a criação de um Grupo Técnico de Trabalho – GT BIM, para ser responsável por capitanear o conhecimento, a disseminação e implantação do BIM na Geribello. Para definição dos participantes foi aberto uma consulta a todos os colaboradores para manifestação do interesse e inscrição.

O GT foi composto por um diretor da empresa, responsável por definir as diretrizes, orientação estratégica e dar o apoio necessário, e oito membros de diferentes áreas, responsáveis pela condução dos trabalhos. A reunião de partida do GT BIM foi realizada em 02/02/2023, definindo como regra para seu funcionamento que a atuação das equipes não poderia impactar no desenvolvimento das atividades normais dos contratos.

Estabeleceu-se o compromisso de dedicar, pelo menos, duas horas semanais ao tema, além de uma reunião semanal de alinhamento, onde trocava-se experiências, avaliações do andamento de atividades, cumprimento dos objetivos e metas, além de conversas sobre a adoção e implementação da metodologia na Geribello.

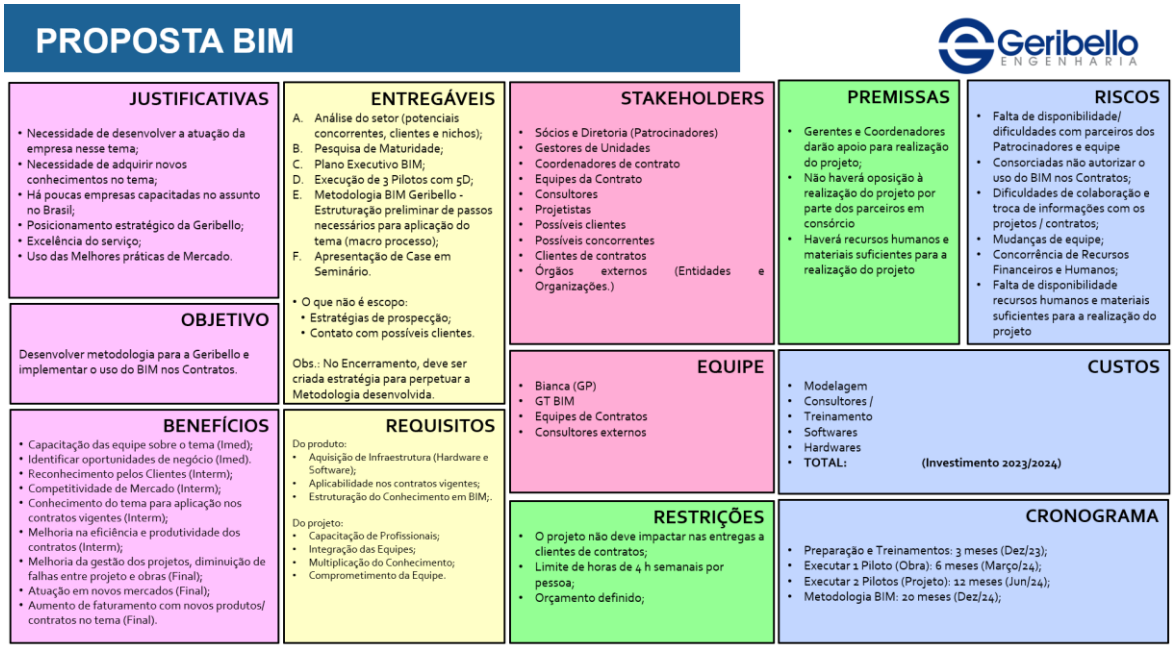
Elaborou-se um plano de trabalho inicial contemplando duas etapas: nivelamento e planejamento. A etapa de nivelamento visava efetuar uma equiparação de conhecimentos entre os participantes, contemplando a realização de pesquisas e encontros para apresentação e discussões, definindo os

seguintes grupos de conhecimento: Conceitos Gerais do BIM; Legislações e Normas; Principais Ferramentas – Softwares; Profissionais de Referências no Mercado; Mapeamento de Clientes; Posicionamento de Concorrentes; Treinamentos Existentes.

PLANEJAMENTO

A etapa de planejamento foi estabelecida sobre um Canvas, que incluía a avaliação e definição dos objetivos e estratégias, os recursos necessários, mas também os riscos, como o intuito de obter sucesso numa implementação disseminada e efetiva na Geribello (Figura 5).

Figura 5: Canvas do planejamento da Implementação BIM na Geribello.



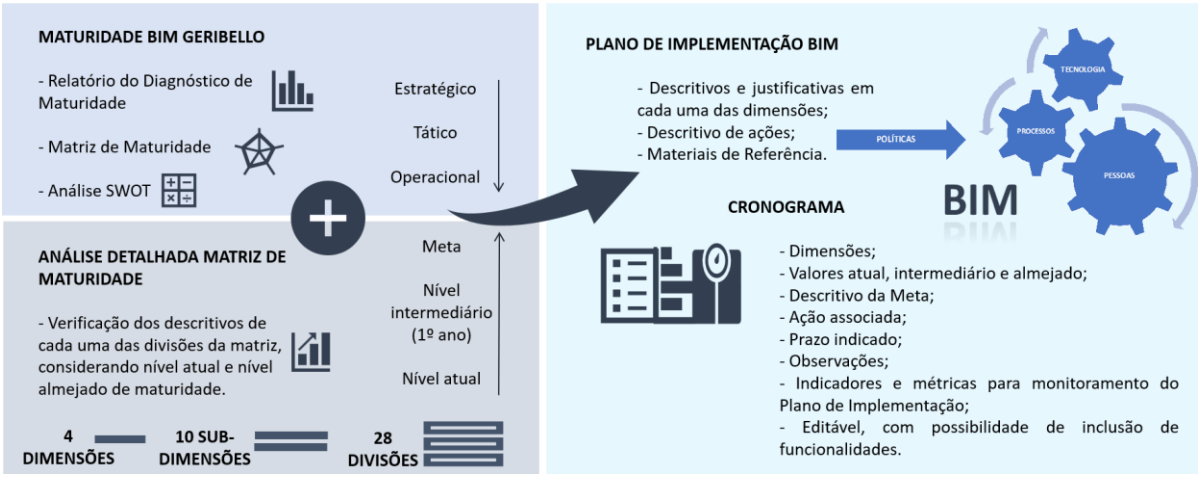
Fonte: Geribello Engenharia.

Durante as discussões para formulação do planejamento, constatou-se a necessidade de contratação de consultoria especializada em implementação de BIM, para apoiar a Geribello no processo. Foram avaliadas diversas empresas e consultores de referência no mercado, sendo escolhida a Consultores BIM por sua metodologia e proposta diferenciada.

IMPLEMENTAÇÃO BIM

Do trabalho conjunto entre o GT BIM e a Consultores BIM, definiu-se uma metodologia de implementação essencialmente regulada por duas fases: a fase de diagnóstico e a fase de planejamento da execução. A primeira fase do trabalho consistiu no diagnóstico de maturidade, e a segunda fase abrangeu a elaboração do plano de implementação para a Geribello (Figura 6).

Figura 6: Metodologia de Implementação BIM na Geribello.



Fonte: Geribello Engenharia.

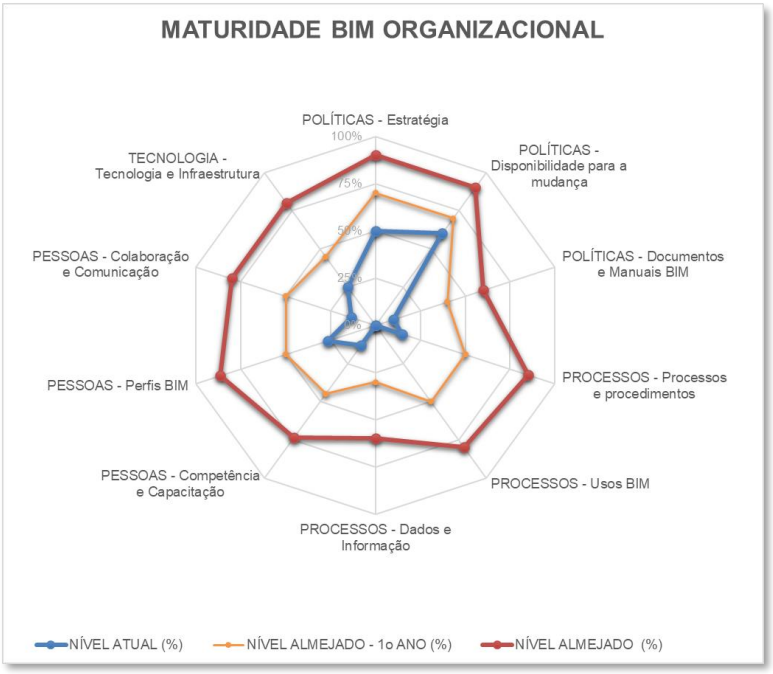
DIAGNÓSTICO DE MATURIDADE

Um diagnóstico foi realizado e procurou-se ouvir o posicionamento dos colaboradores em relação à temática BIM e às mudanças que sua implementação acarreta. O diagnóstico foi baseado em questionários (um mais específico que teve 28 respostas e outro mais geral com 86 respostas), e em entrevistas pontuais com colaboradores-chave. Com os resultados recolhidos, preencheu-se uma matriz de maturidade, organizada segundo as quatro dimensões convencionadas (Políticas, Pessoas, Processos e Tecnologia). Nessa matriz, foram também definidas as metas e níveis almejados para a utilização da metodologia BIM na organização. Na Figura 7 está o resultado, em forma de gráfico de aranha e segundo as macros dimensões, mostrando o nível de maturidade atual, o almejado e um nível intermédio de acompanhamento intercalar.

PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO

Em seguida, foi elaborado um Plano de Implementação BIM que, a partir de todos os dados recolhidos durante o diagnóstico, e para cada uma das dimensões, estabelece ações no tempo e com indicadores de desempenho. Interpretando a estratégia da empresa e o ecossistema de mercado em que ela se insere (análise SWOT), foi definida a visão, missão e objetivos BIM a atingir. Também se procurou empoderar ao máximo o GT BIM e assim potencializar a sua função de divulgação e disseminação da tecnologia na organização, nomeadamente redefinindo os perfis BIM a estabelecer.

Figura 7: Maturidade BIM por Dimensões (do nível atual ao almejado).

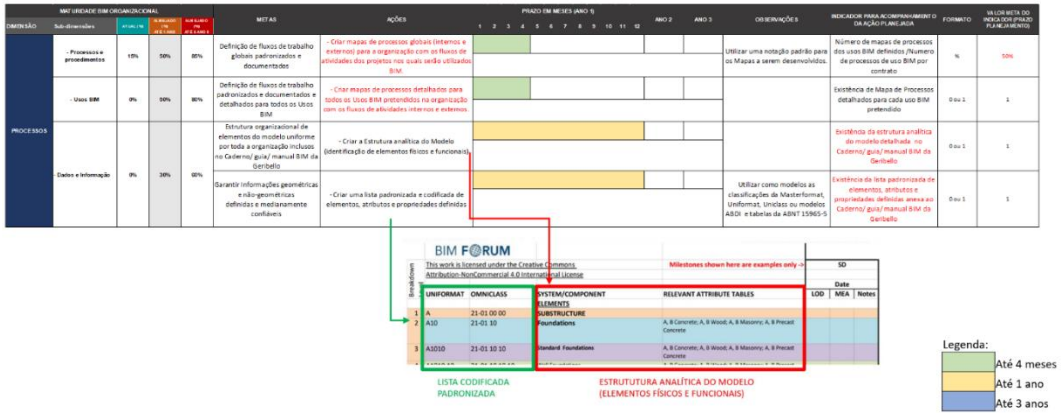


Fonte: Geribello Engenharia.

Para atingir os objetivos definidos, foram estabelecidos também usos BIM e ações a implementar, nomeadamente a criação de Caderno de Contratação de Projetos em BIM e do Plano de Execução BIM para cada contrato, além de documentos e manuais BIM atrelados aos padrões BIM preconizados nas normas vigentes.

Esse plano culmina num mapa/cronograma, dividido por dimensões, sub- dimensões e ações, com indicadores. O cronograma possui referências que podem atestar o avanço das ações, como forma de acompanhamento da Implementação nas abordagens operacional (até 4 meses), tática (até 1 ano) e estratégica (até 3 anos) (Figura 8).

Figura 8: Extrato do cronograma de ações.



Fonte: Geribello Engenharia.

TREINAMENTOS E CAPACITAÇÃO

Ainda no plano de implementação, é proposta a formação necessária para cobrir as lacunas entre o estado de maturidade atual e o almejado, de modo a levar a cabo as ações propostas. Este plano de formação sugere 3 tipos de ações de treinamento e capacitação, desenhados à medida de cada perfil BIM considerado: Treinamento Conceitual, visando o nivelamento de conhecimentos e procurando engajar os colaboradores num objetivo comum, dotando-os da compreensão do processo (Figura 9); Treinamento ferramental, essencialmente no software necessário para cada função e treinamento de aplicação prática, normalmente associado a um projeto piloto, procurando apoiar à aplicação em casos reais dos dois tipos de conhecimento adquiridos anteriormente.

Figura 9: Calendário de Treinamento conceitual.

ConsultoresBIM — TREINAMENTO TEÓRICO GERIBELLO

	Sessão 1	Sessão 2	Sessão 3	Sessão 4	Sessão 5	Sessão 6
	xx/xx/2023	xx/xx/2023	xx/xx/2023	xx/xx/2023	xx/xx/2023	xx/xx/2023
45 minutos	Introdução ao BIM AULA 1	Aplicações e exemplos BIM na Engenharia de Estruturas AULA 3	Aplicação BIM em Sistemas prediais e na Gestão em edifícios (BIM FM) AULA 5	BIM na construção: Casos práticos e gestão da obra II AULA 7	Gestão e contratação em BIM AULA 9	Normatização internacional e a BuldingSmart AULA 11
45 minutos					ATIVIDADE PRÁTICA II	
15 minutos	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo
45 minutos	Modelagem paramétrica/ Interoperabildiade AULA 2	BIM e a Arquitetura AULA 4	BIM na construção: Casos práticos e gestão da obra I AULA 6	ATIVIDADE PRÁTICA I	BIM na Gestão Pública: tendências e desafios AULA 10	Estado da arte da aplicação BIM nos contratos públicos
45 minutos				Implementação BIM na organização AULA 8		

Fonte: Geribello Engenharia.

PROJETOS PILOTO

Paralelamente ao programa de capacitação e seguindo a metodologia estabelecida em conjunto com a consultoria, iniciaram-se dois projetos-piloto com o objetivo de testar o conteúdo aprendido.

Um aconteceu no contrato da CPTM, na obra do Terminal de ônibus da Estação Varginha. Neste caso, a SPTRANS em parceria com a CPTM, projetou um terminal de ônibus para fazer a integração com a estação de trem da CPTM Varginha que está em fase de conclusão. O objetivo neste piloto era realizar o acompanhamento físico da obra ilustrando com cores toda a evolução física da construção. Para isso, foi realizada a modelagem dos projetos fornecidos pela SPTRANS/CPTM, e incluiu-se o planejamento da obra no programa Navisworks para ser possível visualizar no modelo 3D toda a evolução da construção. Mas, infelizmente o contrato foi paralisado.

O outro piloto está sendo realizado nos contratos da CDHU, em um loteamento de casas onde as obras estão no início, no interior de São Paulo. O uso BIM neste caso tem como finalidade extrair os quantitativos com os códigos utilizados na planilha do cliente, auxiliando na composição de uma planilha orçamentária mais realista ao projeto, ajudando na análise de aditivos de contrato e no acompanhamento das obras. Para este piloto contratou-se a modelagem de uma empresa parceira a qual desenvolveu documentos que forneciam as diretrizes da modelagem de todos os elementos, bem como o Plano de Execução BIM. Este trabalho encontra-se em andamento, e percebeu-se que para a contratação assertiva foi necessário elaborar uma apresentação visual do projeto e das informações

requeridas no mesmo, além de realizar reuniões com as empresas selecionadas para esclarecer o escopo completo do serviço, a fim de não haver ruídos, aditivos de prazo e valor ao longo do trabalho.

CONCLUSÕES

Terminada a fase inicial da implementação BIM, partindo dos dados recolhidos e pelo modo como decorreu esta experiência, extraem-se algumas conclusões principais: confirmou-se que não existem receitas pré-concebidas para uma Implementação BIM. Foi notória a necessidade de adaptação dinâmica da metodologia e dos processos, dependendo da cultura, do ambiente e até das equipes envolvidas. Pela adesão dos colaboradores, pelos seus testemunhos e pelo modo como esta iniciativa foi acolhida, constata-se que o tema BIM é muito atual e desperta o interesse pessoal e a vontade de saber mais. Igualmente é percebido o reconhecimento da sua importância para a sustentabilidade da organização; a comunicação e partilha de informação torna-se essencial para ultrapassar barreiras e inércias, desmistificando o processo e apoiando as equipes nesta transição. O modo estruturado como esta implementação foi preparada facilitará as avaliações regulares e permitirá medir o nível de implementação a qualquer momento bem como a readequação dos objetivos e metas. Além disso, essa estruturação poderá servir de exemplo a outras empresas ou entidades que visem a metodologia BIM para uma transição digital moderna e eficaz.

Ao concluir esta importante etapa inicial, a Geribello encontra-se mais preparada para atender as demandas BIM que cada vez mais estão a surgir por parte dos seus principais clientes, públicos e privados.

AGRADECIMENTOS

Durante toda esta jornada, o principal fator para o sucesso têm sido as pessoas. Sem elas nada teria sido atingido. Cabe assim um agradecimento especial a todos os colaboradores da Geribello que, entendendo a pertinência e inevitabilidade desta mudança, se disponibilizaram para ajudar e colaborar, junto com os autores deste artigo, neste projeto de inovação. Sem poder mencionar todos, fica aqui uma menção especial à Andresa Ferreira, Glória Vita Grecov, Lury de Medeiros, Karolina Borgo, Marcelo Oliveira, Nélio Toma e Valéria Fonseca. A eles, representando também todos os restantes, deixamos o nosso muito obrigado.

REFERÊNCIAS

[1] MDIC - Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling – BIM, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, Brasília, 2018.

[2] GOVERNO FEDERAL - DECRETO 10.306, Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling, Brasília, 2020.

[3] GOVERNO FEDERAL - LEI 14.133, Lei de Licitações e Contratos Administrativos, Brasília, 2021

[4] GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA - SIE, Guia de implantação e implementação BIM para órgãos públicos, Santa Catarina, 2022.

[5] SECRETARIA MUNICIPAL DE HABITAÇÃO; CONSÓRCIO SLP – S2, Caderno de Projetos em BIM 2a edição, São Paulo, 2022.

[6] SECRETARIA MUNICIPAL DE HABITAÇÃO; CONSÓRCIO SLP – S2, Caderno de modelagem BIM 2a Edição, São Paulo, 2022.

[7] FNDE, Estratégia BIM FNDE, Fundação Nacional de Desenvolvimento da Educação - Brasília, 2023.

[8] DNIT - Caderno de Requisitos Técnicos BIM do DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - Diretoria de Planejamento e Pesquisa - Núcleo BIM, , Brasília, 2023.

[9] BIM FORUM BRASIL, Pesquisa Nacional sobre digitalização nas engenharias no âmbito da Indústria da Construção, Brasília, 2023.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Impressão 3D FDM na etapa de construção de estação de tratamento de esgoto

FDM 3D printing to sewage treatment plant construction stage

Luiz Alberto Neves Alário| Sondotécnica | luiz.alario@sanearln.com.br
Natália Nakamura Barros | Sondotécnica | natalia.barros.ext@sondotecnica.com.br| 0000-0001-8050-3481
Paulo Eduardo Valadares | Sondotécnica | paulo.valadares@sanearln.com.br
Stefania Dimitrov | Sondotécnica | stefania.dimitrov@sondotecnica.com.br | 0009-0003-6330-7499

DOI: 10.5281/zenodo.14478473

Resumo

A impressão 3D FDM (*Fused Deposition Modeling*) consiste em uma tecnologia de fabricação aditiva, na qual um objeto físico é criado por sucessivas camadas de material a partir de um modelo 3D digital. O modelo BIM pode ser utilizado como base para gerar o modelo físico por meio de impressão 3D. Técnicas de manufaturas aditivas estão sendo cada vez mais utilizadas pela construção civil como, por exemplo, para a criação de protótipos industriais, na etapa de concepção e construção de empreendimentos. A etapa de construção enfrenta uma série de desafios, como atrasos, estouros de orçamento e falta de comunicação entre as partes envolvidas. A impressão 3D tem o potencial de mitigar estes problemas e de facilitar a compreensão de projetos complexos, como é o caso de projetos de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), especialmente por pessoas que não têm conhecimento técnico específico. O objetivo deste trabalho é demonstrar a aplicação de modelo tridimensional gerado a partir de impressão 3D em um canteiro de obras. O método aplicado consistiu em uma pesquisa exploratória a partir da análise do exemplo de uso de modelo físico gerado com impressão 3D na etapa de construção de ETE, de forma a fornecer maior compreensão dos impactos do uso desta tecnologia no canteiro de obras. O procedimento consistiu em: (i) coleta de dados, (ii) modelagem digital, (iii) impressão 3D FDM, (iv) validação e aplicação. Na etapa de coleta de dados, foram reunidas informações detalhadas sobre o projeto, incluindo dimensões, materiais e requisitos operacionais da estação de tratamento. Após, foi feita a modelagem digital de 4 (quatro) tanques projetados em concreto armado para o tratamento biológico dos efluentes da ETE. O modelo digital foi convertido em um modelo físico utilizando a tecnologia de impressão 3D FDM. O modelo físico foi validado e levado para o canteiro de obras. Como resultado, o modelo tridimensional físico propiciou uma melhor compreensão do projeto por todos os agentes envolvidos na construção, permitindo a visualização das etapas de construção, previsão de desafios como as várias etapas de concretagem e as localizações exatas das aberturas nas paredes e lajes, maior compreensão da estrutura e a coleta de sugestões antes da execução da obra. Como conclusão, o uso de modelo físico gerado a partir de impressão 3D facilitou a comunicação entre as partes, ampliando o acesso à informação e diminuindo a ocorrência de falhas e atrasos na obra devido a problemas de entendimento entre os envolvidos. A maquete física gerada a partir do modelo BIM ofereceu uma maneira eficaz de visualização e compreensão das complexidades do projeto por todos os colaboradores, de maneira didática, resultando em maior precisão na execução da obra. A identificação precoce de problemas potenciais a partir do modelo físico pode reduzir desperdícios, retrabalhos e falhas de entendimento, promovendo a valorização do colaborador e o desenvolvimento mais eficiente e sustentável das infraestruturas de saneamento.

Palavras-chave: Impressão 3D. Infraestrutura. Saneamento. Estação de Tratamento de Esgoto.

Abstract

Fused Deposition Modeling (FDM) 3D Printing is an additive manufacturing technology in which a physical object is created by successive layers of material from a digital 3D model. The BIM model can be used as a basis to generate the physical model through 3D printing. Additive manufacturing techniques are increasingly being utilized in the construction industry, for instance, for the creation of industrial prototypes during the design and construction phases of projects. The construction phase faces a series of challenges, such as delays, budget overruns, and lack of communication among the parties involved. 3D printing has the potential to mitigate these problems and facilitate the understanding of complex projects, such as Sewage Treatment Plant (STP) projects, especially for individuals without specific technical knowledge. The objective of this study is to demonstrate the application of a three-dimensional model generated through 3D printing on a construction site. The applied method consisted of exploratory research based on the analysis of the example of using a physical model generated with 3D printing in the construction phase of an STP, to provide a better understanding of the impacts of using this technology on construction site. The procedure consisted of: (i) data collection, (ii) digital modeling, (iii) FDM 3D printing, (iv) validation and application. During the data collection phase, detailed information about the project was gathered, including dimensions, materials, and operational requirements of treatment plant. Subsequently, the digital modeling of four (4) tanks designed in reinforced concrete for the biological treatment of the STP effluents was carried out. The digital model was converted into a physical model using FDM 3D printing technology. The physical model was validated and taken to construction site. As a result, the three-dimensional physical model provided a better understanding of the project by all agents involved in construction, allowing the visualization of construction stages, prediction of challenges such as the various concreting stages and the exact locations of openings in walls and slabs, greater understanding of structure, and suggestions collection before work execution. In conclusion, the use of a physical model generated through 3D printing facilitated communication among the parties, expanding access to information and reducing the occurrence of failures and delays in the work due to understanding problems among those involved. The physical model generated from the BIM model offered an effective way of visualizing and understanding the complexities of project by all collaborators, in a didactic manner, resulting in greater precision in work execution. Early identification of potential problems from physical models can reduce waste, rework, and understanding failures, promoting collaborator appreciation and more efficient and sustainable development of sanitation infrastructures.

Keywords: 3D Printing, Infrastructure, Sanitation, Sewage Treatment Plant.

INTRODUÇÃO

A aplicação da manufatura aditiva (AM) em larga escala está crescendo e, portanto, sujeita a pesquisas intensivas – por conta de seu potencial disruptivo para revolucionar a indústria de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) [1], promovendo inovações significativas em termos de eficiência, sustentabilidade e personalização de projetos, além de possibilitar a criação de estruturas complexas que seriam inviáveis com métodos tradicionais.

Para fazer a ponte entre os métodos de construção atuais e uma abordagem otimizada orientada à automação, diferentes autores investigaram o potencial de adoção da AM comumente conhecida como impressão 3D [1]. Pessoa *et al.* fizeram uma revisão sistemática de impressão 3D na indústria da construção, com foco em eficiência térmica de edifícios impressos em 3D. Buchanan e Gardner também fizeram uma revisão de literatura com foco em impressão 3D de metal para a indústria da construção [2]. García-Alvarado *et al.* apresentaram um fluxo de trabalho para integrar modelos BIM com impressão de construção 3D [3]. Labonnote *et al.* investigaram a aplicação das tecnologias de manufatura aditiva para construção de estruturas de grande porte [4].

Existem formas diferentes de impressão 3D; a mais comumente utilizada na indústria da construção é conhecida como *Fused Deposition Modeling* (FDM) [5]. A impressão 3D FDM consiste em uma tecnologia de fabricação aditiva, na qual um objeto físico é criado por sucessivas camadas de material a partir de um modelo 3D digital.

O modelo BIM pode ser utilizado como base para gerar o modelo físico por meio de impressão 3D. Técnicas de manufaturas aditivas estão sendo cada vez mais utilizadas pela construção civil como, por exemplo, para a criação de protótipos industriais, na etapa de concepção e construção de empreendimentos.

A etapa de construção, entretanto, enfrenta uma série de desafios, como atrasos, estouros de orçamento e falta de comunicação entre as partes envolvidas. A impressão 3D tem o potencial de mitigar estes problemas e de facilitar a compreensão de projetos complexos, como é o caso de projetos de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), especialmente por pessoas que não têm conhecimento técnico específico.

Apesar da gama de estudos existentes acerca do uso de impressão 3D para a indústria da construção, a maioria é voltada para edificações [3,1,6]. Existem poucos estudos com foco em infraestrutura de saneamento, o que evidencia uma lacuna na literatura e aponta para a necessidade de mais pesquisas direcionadas a essa área, especialmente considerando os benefícios potenciais que a impressão 3D pode trazer aos projetos e obras de saneamento.

O objetivo deste trabalho é demonstrar a aplicação de modelo tridimensional gerado a partir de impressão 3D em um canteiro de obras de Estação de Tratamento de Esgoto.

MÉTODO

O método aplicado consistiu em uma pesquisa exploratória a partir da análise do exemplo de uso de modelo físico gerado com impressão 3D na etapa de construção de ETE, de forma a fornecer maior compreensão dos impactos do uso desta tecnologia no canteiro de obras. O procedimento consistiu em: (i) coleta de dados, (ii) modelagem digital, (iii) impressão 3D FDM, (iv) validação e aplicação.

Na etapa de coleta de dados, foram reunidas informações detalhadas sobre o projeto, incluindo dimensões, materiais e requisitos operacionais da estação de tratamento.

Na etapa de modelagem digital, foi feito o modelo digital de 4 (quatro) tanques projetados em concreto armado para o tratamento biológico dos efluentes da ETE. O modelo digital da estação de tratamento foi feito na ferramenta AutoCAD – Release 2017, da Autodesk.

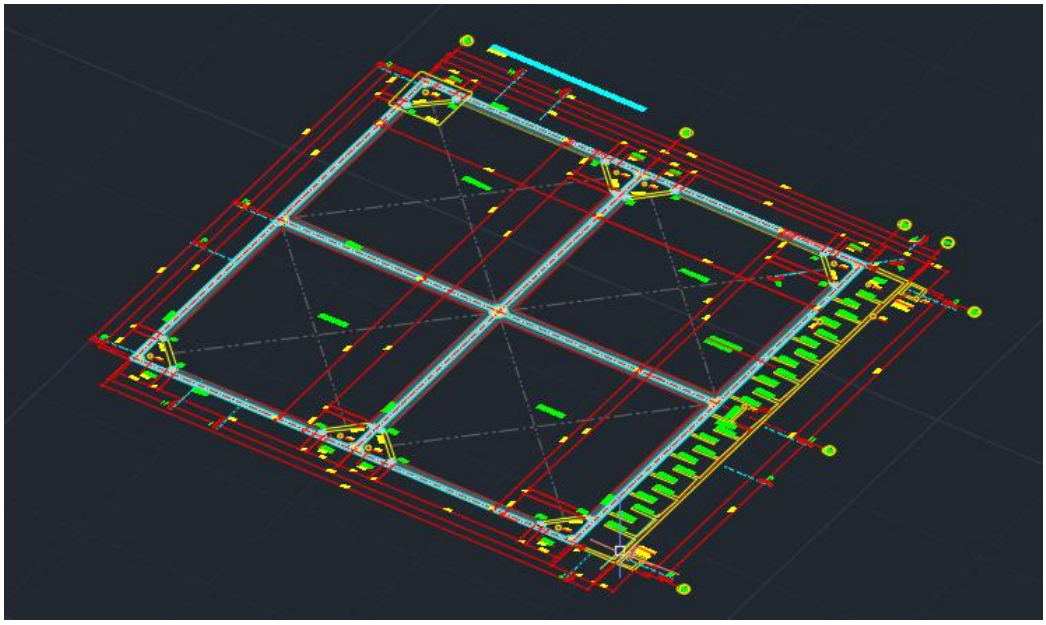
O modelo digital foi convertido em um modelo físico utilizando a tecnologia de impressão 3D FDM. Foi utilizada a impressora SETHI, modelo Sethi3DS3X.

O modelo foi impresso na escala 1:75. O material utilizado foi o filamento de poliácido lático (PLA) biodegradável. Após, o modelo físico foi validado e levado para o canteiro de obras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo digital da ETE permitiu a visualização precisa de todos os componentes estruturais e funcionais. Os modelos digitais 2D e 3D são apresentados nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Figura 1 – Modelo digital bidimensional da Estação de Tratamento de Esgoto

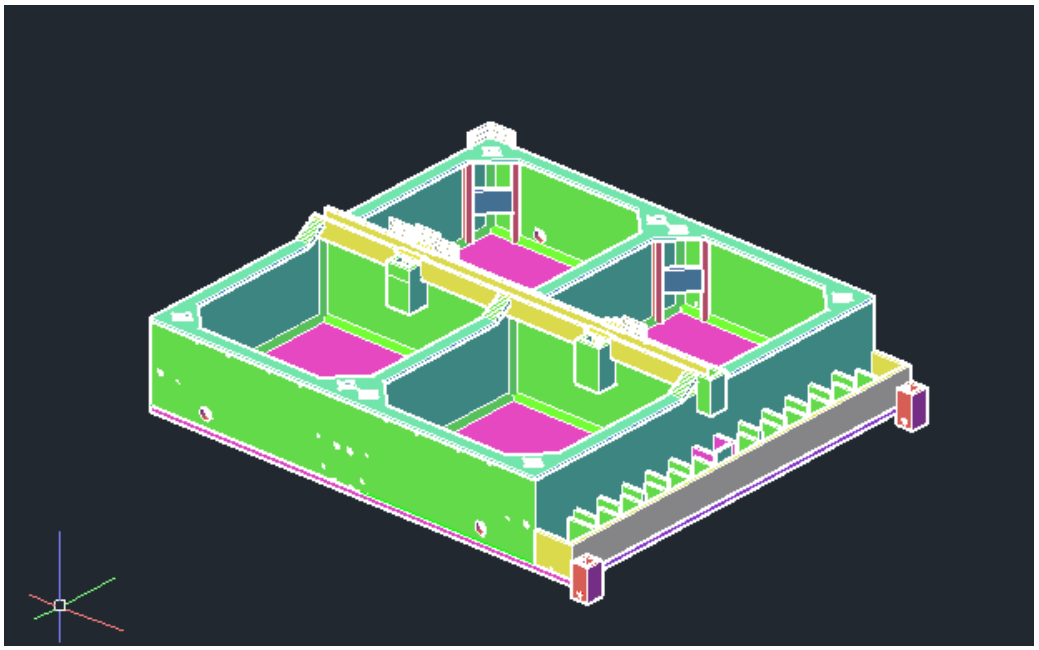


Fonte: os autores.

O modelo digital foi convertido em um modelo físico utilizando a tecnologia de impressão 3D FDM. Esta tecnologia de impressão permitiu a criação do protótipo e modelo funcional reduzido da ETE, apresentado na Figura 3, proporcionando uma representação tangível e detalhada do projeto.

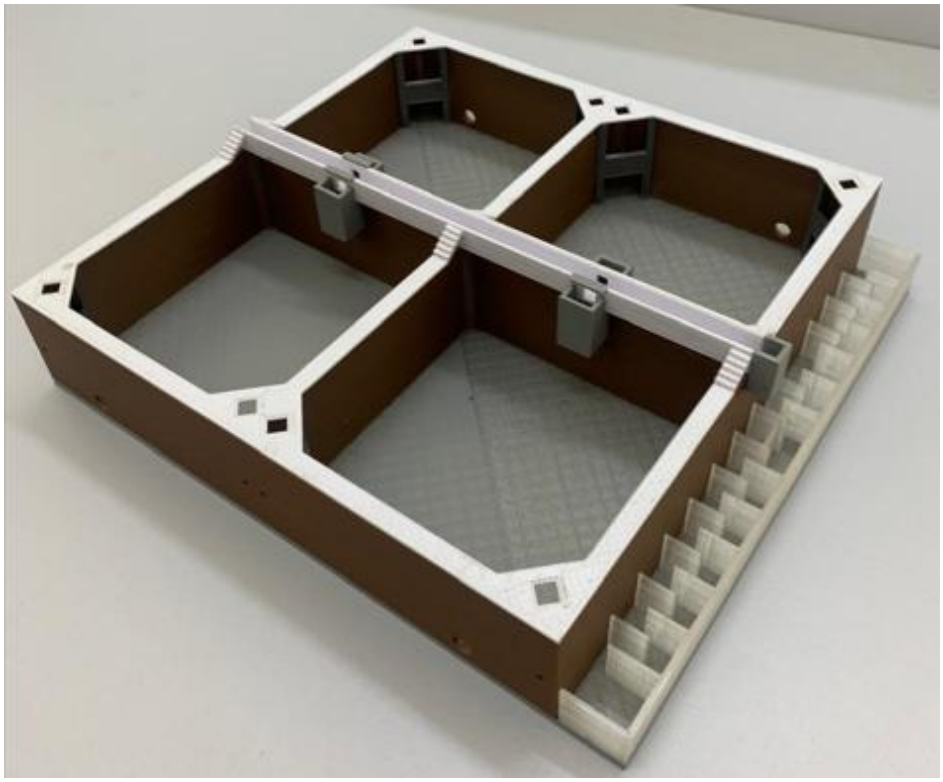
O modelo físico da ETE foi levado ao canteiro de obras e utilizado para treinar os operários, permitindo-lhes visualizar as etapas de construção, compreender as várias etapas de concretagem e as localizações exatas das aberturas nas paredes e lajes. Este modelo possibilitou maior compreensão da estrutura da ETE, reduzindo erros durante a etapa da construção.

Figura 2 - Modelo digital tridimensional da Estação de Tratamento de Esgoto



Fonte: os autores.

Figura 3 - Modelo físico 3D da Estação de Tratamento de Esgoto feito a partir de impressão 3D em FDM.



Fonte: os autores.

A Figura 4 mostra a ETE construída. A obra de construção utilizou um sistema de formas trepantes, com alturas mínimas de concretagem de aproximadamente 2,00 metros para as paredes, o que exigiu três etapas de concretagem. O piso foi executado em quatro etapas, uma para cada reservatório, enquanto as passarelas, canaletas e escadas foram concluídas em duas etapas. Todos os elementos foram executados com concreto de alto desempenho, com resistência de Fck 40 Mpa, com fibras de poliéster incorporado no concreto.

Figura 4 - Estação de Tratamento de Esgoto construída



Fonte: os autores.

Os principais benefícios do uso de modelo físico gerado a partir de impressão 3D FDM para a etapa de construção de ETE foram:

1. Visualização Tangível: o modelo físico tridimensional criado a partir de impressão 3D FDM proporcionou uma representação concreta do projeto, facilitando a compreensão das dimensões e complexidades da ETE;
2. Detecção antecipada de problemas: a visualização tridimensional permitiu identificar e solucionar potenciais problemas na estrutura, como a necessidade de ajustes nas aberturas e no posicionamento dos equipamentos utilizados nas concretagens e mitigar riscos relacionados à segurança no canteiro de obras;
3. Eficiência no Treinamento: o modelo físico serviu como uma ferramenta educativa eficaz, melhorando a capacidade dos operários de entender as etapas do projeto, o que contribuiu para a redução de acidentes, erros e retrabalho e consequentemente, auxiliou na melhoria da qualidade da construção.

Em suma, o modelo tridimensional físico gerado a partir de impressão 3D por FDM propiciou uma melhor compreensão do projeto por todos os agentes envolvidos na construção, permitindo a visualização das etapas de construção, previsão de desafios como as várias etapas de concretagem e as localizações exatas das aberturas nas paredes e lajes, maior compreensão da estrutura e a coleta de sugestões antes da execução da obra.

CONCLUSÃO

A aplicação da impressão 3D FDM na indústria da construção civil, especialmente no setor de saneamento em projetos estruturais de extrema complexidade, neste caso aplicados em tanques de tratamento de efluentes de uma Estação de Tratamento de Esgoto, representa um avanço significativo na forma como as obras são planejadas e executadas. O uso de modelo físico gerado a partir de impressão 3D facilitou a comunicação entre as partes, ampliando o acesso à informação e diminuindo a ocorrência de falhas e atrasos na obra devido a problemas de entendimento entre os envolvidos. A maquete física gerada a partir do modelo BIM ofereceu uma maneira eficaz de visualização e

compreensão das complexidades do projeto por todos os colaboradores, de maneira didática, resultando em maior precisão na execução da obra. A identificação precoce de problemas potenciais a partir do modelo físico pode reduzir desperdícios, retrabalhos e falhas de entendimento, promovendo a valorização do colaborador e o desenvolvimento mais eficiente e sustentável das infraestruturas de saneamento.

Como estudo futuro, sugere-se a aplicação de BIM e de impressão 3D em outras etapas do ciclo de vida de ETEs. Na etapa de manutenção e operação de infraestruturas de saneamento, por exemplo, a impressão 3D pode desempenhar um papel crucial na otimização dos processos. A utilização de modelos físicos impressos em 3D pode permitir uma visualização clara e detalhada das instalações, facilitando a identificação de áreas que necessitam de manutenção preventiva ou corretiva. Além disso, esses modelos podem ser utilizados para treinar equipes de manutenção, proporcionando uma compreensão mais aprofundada das complexidades estruturais e operacionais das ETEs.

A operação eficiente das ETEs é fundamental para garantir a qualidade do tratamento dos efluentes e a proteção do meio ambiente. A impressão 3D pode auxiliar na simulação de cenários, permitindo que os agentes envolvidos testem diferentes estratégias e identifiquem a abordagem mais eficaz para cada situação. Essa capacidade de simulação é particularmente valiosa em emergências, onde decisões rápidas e informadas são essenciais para mitigar impactos ambientais. Além disso, a tecnologia pode ser utilizada para criar peças de reposição personalizadas e sob demanda, reduzindo a dependência de fornecedores externos e agilizando o processo de manutenção.

Por fim, a integração da impressão 3D com sistemas de monitoramento em tempo real pode revolucionar a gestão de infraestruturas de saneamento. Sensores instalados nas ETEs podem fornecer dados contínuos sobre o desempenho dos sistemas, que podem ser utilizados para atualizar os modelos 3D e prever falhas antes que ocorram. Essa abordagem proativa não só melhora a eficiência operacional, mas também prolonga a vida útil dos equipamentos e reduz custos associados a reparos emergenciais. Em suma, a impressão 3D, quando aliada a tecnologias de monitoramento avançadas, oferece um caminho promissor para a modernização e sustentabilidade das operações de saneamento.

REFERÊNCIAS

[1] PESSOA, S. et al. 3D printing in the construction industry - A systematic review of the thermal performance in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 141, p. 110794, 1 maio 2021.

[2] BUCHANAN, C.; GARDNER, L. Metal 3D printing in construction: A review of methods, research, applications, opportunities and challenges. Engineering Structures, v. 180, p. 332–348, 1 fev. 2019.

[3] GARCÍA-ALVARADO, R. et al. From BIM model to 3D construction printing: A framework proposal. Frontiers of Architectural Research, v. 13, n. 4, p. 912–927, 1 ago. 2024.

[4] LABONNOTE, N. et al. Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities. Automation in Construction, v. 72, p. 347–366, 1 dez. 2016.

[5] ARANDA, S. 3D Printing Failures: 2022 Edition: How to Diagnose and Repair ALL Desktop 3D Printing Issues. [s.l.] Independently published, 2021.

[6] SAKIN, M.; KIROGLU, Y. 3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM. Energy Procedia. Anais... Em: 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABILITY IN ENERGY AND BUILDINGS. Chania, Crete, Greece: Elsevier, 1 out. 2017.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Inovação digital na construção: impressão 3D como extensão de projetos BIM

Digital innovation in construction: 3D Printing as an extension of BIM projects

Hannah Caroline Proença | ENCIBRA | Hannah.Proenca@encibra.com.br
Leandro Chaves Cavalcanti | ENCIBRA | Leandro.Cavalcanti@encibra.com.br
Vagner Almeida Lima | ENCIBRA | Vagner.Lima@encibra.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14478529

Resumo

A construção civil tem passado por uma transformação significativa com a adoção de inovações digitais, incluindo a integração da Modelagem de Informação da Construção (BIM) com a elaboração de maquetes executadas a partir de impressão 3D. Embora a metodologia BIM permita a modelagem detalhada e a gestão eficiente de projetos, a materialização desses projetos em maquetes físicas oferece uma representação tangível que facilita a comunicação e a compreensão do projeto. Problemas gerais incluem a dificuldade em visualizar e validar projetos complexos apenas através de modelos digitais. Especificamente, o desafio é como combinar eficazmente o BIM com a criação de maquetes físicas para otimizar a fase de planejamento e a execução da obra. Este estudo explora como a integração dessas tecnologias viabiliza etapas do ativo, agregando alguns diferenciais frente a outras possibilidades, como realidade virtual, realidade aumentada, visualizadores de modelos digitais etc. Este estudo de caso foi conduzido com base na análise do uso de maquetes elaboradas através de impressão 3D em um projeto de infraestrutura de saneamento básico, especificamente uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). O projeto da ETE, elaborado na metodologia BIM, trata de uma estação do tipo compacta. O processo de criação da maquete incluiu a impressão 3D de componentes individuais da ETE, que foram montados para formar uma representação tridimensional das instalações. Além disso, foram realizadas trocas de informações com os engenheiros responsáveis pela concepção do projeto, garantindo que a maquete física refletisse de forma fidedigna todas as especificações e detalhes técnicos do projeto. Esse processo de validação através da maquete física, aliado à aplicação do BIM, permitiu uma análise mais detalhada das interações entre as unidades da ETE e a otimização dos processos construtivos. A maquete serviu como uma ferramenta para identificar possíveis interferências entre componentes e facilitar a comunicação com os stakeholders envolvidos no projeto. Os principais resultados indicam que a integração de maquetes físicas 3D com BIM proporciona uma visualização mais precisa e interativa dos projetos, facilitando a comunicação entre equipes e clientes. A materialização física dos projetos permite identificar problemas e interferências antes da construção, reduzindo retrabalhos e melhorando a eficiência. O uso de tecnologias como impressão 3D e realidade virtual (VR) em conjunto com BIM mostrou ser particularmente eficaz na criação de maquetes que representam detalhadamente a geometria e os aspectos técnicos dos modelos digitais. Além disso, a integração dessas tecnologias pode otimizar o processo de contratação, oferecendo representações claras e precisas que auxiliam na avaliação e no planejamento. Este estudo contribui para a compreensão de como a inovação digital pode ser aplicada para melhorar a comunicação no setor da construção. A combinação do BIM com maquetes físicas 3D, suportada por tecnologias como impressão 3D e VR, oferece uma abordagem mais abrangente e interativa para a visualização e validação de projetos. A integração dessas tecnologias pode melhorar a qualidade do projeto, reduzir impactos

ambientais, promover práticas mais sustentáveis e facilitar a gestão e execução de obras. Além disso, a pesquisa sugere que construtoras e empresas de engenhariam possam se utilizar desta ferramenta como uma importante ferramenta de marketing, além de apoiar na tomada de decisões sobre mudanças de design, otimizações ou novas soluções.

Palavras-chave: *Building Information Modeling*. Maquetes. Impressão 3D. Inovação Digital. Construção Civil.

Abstract

The construction industry has been undergoing a significant transformation with the adoption of digital innovations, including the integration of Building Information Modeling (BIM) with the creation of models produced via 3D printing. While BIM methodology allows for detailed modeling and efficient project management, the physical realization of these projects in models offers a tangible representation that facilitates communication and project understanding. General problems include the difficulty of visualizing and validating complex projects solely through digital models. Specifically, the challenge is how to effectively combine BIM with the creation of physical models to optimize both the planning and execution phases of a project. This study explores how integrating these technologies enables stages of the asset, adding some differentials compared to other possibilities, such as virtual reality, augmented reality, digital model viewers etc. This case study was conducted based on the analysis of the use of models created through 3D printing in a basic sanitation infrastructure project, specifically a Wastewater Treatment Plant (WWTP). The WWTP project, designed using BIM methodology, involves a compact-type plant. The process of creating the model included 3D printing individual components of the WWTP, which were assembled to form a three-dimensional representation of the facilities. In addition, information exchanges were carried out with the engineers responsible for the project's conception, ensuring that the physical model faithfully reflected all the project's technical specifications and details. This validation process through the physical model, combined with the application of BIM, allowed for a more detailed analysis of the interactions between the WWTP units and the optimization of construction processes. The model served as a tool for identifying possible interferences between components and facilitating communication with the stakeholders involved in the project. The main results indicate that the integration of 3D physical models with BIM provides a more accurate and interactive visualization of projects, facilitating communication between teams and clients. The physical realization of the projects allows for identifying problems and interferences before construction, reducing rework, and improving efficiency. The use of technologies such as 3D printing and virtual reality (VR) combined with BIM has proven particularly effective in creating models that accurately represent the geometry and technical aspects of digital models. Furthermore, the integration of these technologies can optimize the contracting process, offering clear and precise representations that assist in evaluation and planning. This study contributes to understanding how digital innovation can be applied to improve communication in the construction sector. The combination of BIM with 3D physical models, supported by technologies such as 3D printing and VR, offers a more comprehensive and interactive approach to project visualization and validation. The integration of these technologies can improve project quality, reduce environmental impacts, promote more sustainable practices, and facilitate project management and execution. Additionally, the research suggests that construction companies and engineering firms can use this tool as an important marketing asset, as well as support decision-making regarding design changes, optimizations, or new solutions.

Keywords: Building Information Modeling. Models. 3D Printing. Digital Innovation. Civil Construction.

INTRODUÇÃO

A última década testemunhou mudanças profundas na indústria da construção, com inovações baseadas em digitalização, automação e metodologias integradas de construção, coletivamente chamadas de "Construção 4.0" [16]. No centro dessa revolução está o surgimento e a adoção de técnicas de design digital e sistemas de construção automatizados [7].

Um cruzamento particularmente cativante nesse contexto é a sinergia entre o BIM e a impressão 3D na construção [7]. O potencial de derivar instruções de impressão 3D diretamente de modelos BIM despertou interesse na pesquisa [11]. Fatores que influenciam esses modelos são múltiplos, abrangendo desde cronogramas de impressão, análises de juntas, posicionamento de vazios dentro de

paredes até a otimização das rotas de impressão [12], cada um influenciando criticamente o resultado e até mesmo a quantidade de material utilizado nos processos de impressão [4].

O desenvolvimento que nos últimos anos a metodologia BIM introduziu no setor da construção permitiu estender o uso de programas preparados para gerar e manipular geometrias 3D. Por outro lado, os avanços nas tecnologias de impressão 3D possibilitaram a criação de objetos mais diversificados, tanto a nível de material como de geometria. Esta realidade permite compatibilizar as duas tecnologias e criar um possível mercado na indústria da construção civil dedicado à impressão 3D [14]

A impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva (AM) e prototipagem rápida (RP), é uma tecnologia digitalizada emergente que está sujeita a debates diários, despertando amplo interesse de pesquisadores, da indústria e do público com seus diversos campos de aplicações que estão em constante crescimento, como medicina, gastronomia, engenharia, manufatura, arte e educação [13] [17] [6].

A impressão 3D é um processo de fabrico aditivo cujo princípio se baseia na criação de objetos a partir da sobreposição de material em camadas. Atualmente, existem diversas tecnologias de impressão 3D, todas baseiam-se no princípio de executar diversos fatiamentos da figura, obtendo uma fina camada através do processo de decomposição de matérias das partes sólidas, sobrepondo camadas uma sobre a outra até obter o objeto desejado [1]. Apesar de ser uma tecnologia desenvolvida há já várias décadas, o seu uso apenas se generalizou com os avanços da modelagem tridimensional [14].

A prototipagem rápida na construção civil pode ser utilizada por arquitetos e engenheiros ao longo das etapas de projeto e de produção a fim de aprimorar a coordenação de projeto, reduzir o tempo e o custo do processo e melhorar a qualidade do produto. Pode melhorar ainda a construtibilidade dos projetos, a verificação de ajustes nas diferentes peças, a visualização da evolução física das etapas da obra, o planejamento e gerenciamento do canteiro de obras e a logística [5].

Se uma aplicação 3D específica é tecnicamente possível ou economicamente viável depende em grande parte do seu volume de produção, tamanho da peça, complexidade e custo do material [2].

Hoje, a velocidade e a conveniência da prototipagem rápida permitem que empresas, pequenas e grandes, sejam mais ágeis e produzam versões diferentes de um produto durante a noite, testem-nas e produzam versões melhoradas sem demora. Isso não apenas melhora o processo de produção, mas também tem um impacto profundo em quão criativos os inventores podem ser no desenvolvimento de seus produtos [10].

A impressão 3D não é uma solução isolada que pode resolver todos os problemas na indústria da construção. Existem vários requisitos, como a escala do projeto e os materiais de impressão, que devem ser cumpridos para que a tecnologia de impressão tenha o desempenho máximo. Esses requisitos limitarão o uso da impressão 3D na indústria da construção. No entanto, à medida que a tecnologia está sendo aprimorada para abordar os limites, a aplicabilidade da impressão 3D será expandida [18].

Para poder utilizar as vantagens dessa tecnologia, é importante estar ciente das características da indústria [15]. O interesse em pesquisa sobre impressão 3D na construção aumentou significativamente nos últimos anos [3] e há uma necessidade de investigar e discutir barreiras, impulsionadores, facilitadores e impactos para a inovação em projetos de construção [8].

O presente trabalho busca investigar a integração entre o BIM e a impressão 3D no contexto de projetos de saneamento básico, com foco no projeto de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do tipo compacta. O estudo visa analisar como a criação de maquetes físicas integradas a modelos BIM, pode otimizar a visualização, a validação e a comunicação de projetos complexos, reduzindo

retrabalhos e melhorando a eficiência na execução de obras, ao mesmo tempo que propõe a combinação dessas tecnologias como diferencial no planejamento e na gestão de projetos de infraestrutura.

MÉTODO

O método adotado para o presente trabalho foi estruturado em três etapas principais. Na primeira fase, realizou-se a modelagem digital dos componentes construtivos da ETE, em BIM. Em seguida, foi conduzido o preparo da modelagem da ETE para impressão 3D do protótipo, que ajustou o modelo BIM previamente desenvolvido para as especificações técnicas da impressão 3D, contemplando aspectos como escala, espessura e materiais. A etapa final consistiu na compatibilização da impressão com os elementos do modelo BIM, onde verificou-se a integração entre as geometrias impressas e o modelo digital original.

DA ELABORAÇÃO DO MODELO BIM

A modelagem da ETE compacta foi realizada em várias etapas, contemplando todas as fases do tratamento de esgoto, desde a elevatória de chegada até as unidades de tratamento, como reatores UASB, filtros biológicos percoladores, decantadores, tanque de contato e leitos de secagem. Cada unidade foi modelada detalhadamente, levando em consideração aspectos como capacidade, dimensões e integração de componentes mecânicos. A modelagem, desenvolvida no *Revit*, garantiu a funcionalidade, a eficiência operacional e a facilidade futura de manutenção para representar com precisão os elementos que compõe as disciplinas: estrutural, hidromecânico, arquitetônico e viário.

A etapa de modelagem também incluiu a compatibilização das disciplinas por meio do *Navisworks*, identificando e corrigindo interferências entre estruturas, tubulações e sistemas hidromecânicos. Com o modelo digital compatibilizado (ver Figura 1), o projeto prosseguiu para a etapa de impressão 3D.

Figura 1: Modelo final da ETE compacta



Fonte: Autor

DA IMPRESSÃO 3D DO PROTÓTIPO

A segunda etapa trata da impressão 3D do protótipo da ETE, utilizando softwares que se integram ao ambiente BIM, possibilitando a conversão do modelo digital em um formato físico. Essa etapa permitiu a reprodução da estação de tratamento em uma escala reduzida, facilitando a visualização detalhada de sua configuração e componentes.

Antes de realizar a impressão completa do protótipo, foram feitas impressões-testes com o reator UASB para identificar e ajustar possíveis problemas que pudessem comprometer o processo de impressão da estação. O objetivo desses testes foi avaliar a capacidade da impressora 3D em reproduzir detalhes finos e estruturas críticas, garantindo que as espessuras mínimas projetadas no modelo BIM fossem corretamente impressas no protótipo físico.

Este trabalho utilizou duas formas de impressão 3D para os testes: impressoras de resina e de filamento. Com a disponibilidade das máquinas, foi possível testar diferentes materiais e analisar seus comportamentos em relação aos elementos BIM modelados. A seguir, são detalhadas as metodologias aplicadas em cada caso.

CASO 1: TESTES DE IMPRESSÃO 3D NA IMPRESSORA DE RESINA

A primeira etapa da impressão-teste envolveu o preparo do elemento BIM. Um dos reatores UASB foi isolado no *Revit*, removendo os demais componentes do modelo BIM, facilitando sua exportação para a impressora. O arquivo em formato "RVT" foi convertido para o software de fatiamento *Chitubox*, no formato "STL". O *Chitubox* gerou o modelo 3D em camadas finas, usadas para a impressão incremental, e produziu um arquivo final no formato "CTB", após verificação de espessuras mínimas e geração de suportes para garantir a integridade da impressão.

Optou-se pela impressora de resina *Elegoo Saturn 3 – 12K*, devido à sua alta precisão, essencial para reproduzir corretamente os detalhes e estruturas críticas do protótipo. Para assegurar a qualidade da impressão, foram realizadas as seguintes etapas, a saber:

1. Mistura da resina, para garantir sua consistência homogênea;
2. Aplicação de lubrificante no vat, facilitando a adesão do material à mesa;
3. Nivelamento da mesa, assegurando o sucesso das primeiras camadas e,
4. Controle rigoroso da temperatura ambiente, mantendo a sala a 23°C para evitar falhas na cura da resina.

Essas etapas foram imprescindíveis para garantir uma impressão precisa e de alta qualidade, especialmente devido às exigências de detalhes do modelo do reator.

Após a configuração adequada de todos os parâmetros necessários, os primeiros testes de impressão foram iniciados (ver Figura 2). O tempo total de impressão para o primeiro teste foi de aproximadamente 3 horas e 52 minutos, utilizando como material a resina *Elegoo Water Washable Green*, conhecida por sua praticidade de limpeza com água.

Figura 2: Impressão teste em resina do reator UASB



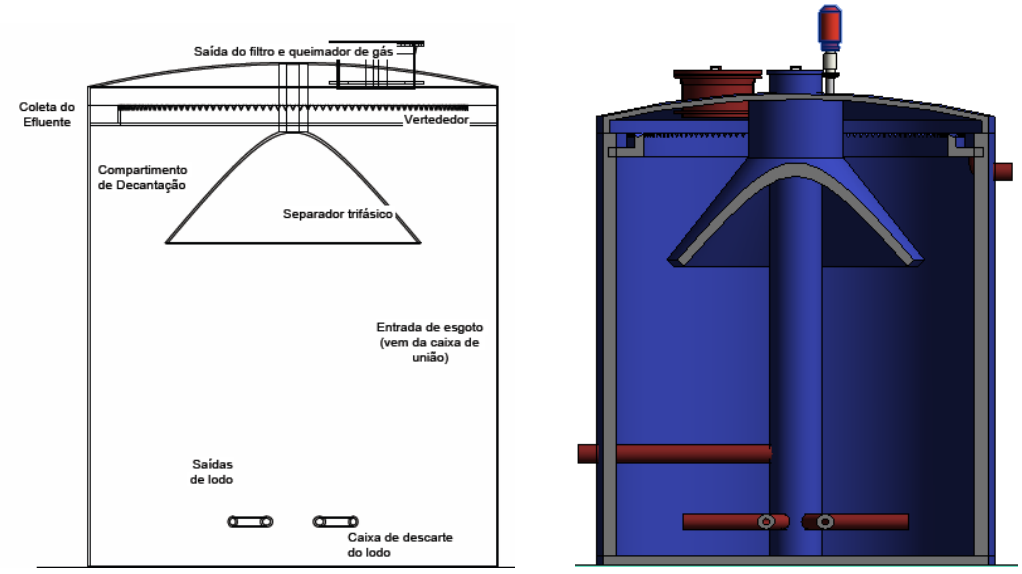
Fonte: Autor

Ao final da impressão, foi realizada uma análise minuciosa da peça, na qual foram identificadas áreas que precisavam de ajustes. Estruturas ocas e com muitos detalhes minúsculos, como tubos e paredes

finas, demandaram alterações no *Revit*. Os tubos finos foram convertidos em estruturas sólidas e algumas partes externas do reator, que apresentavam espessura insuficiente, foram engrossadas para garantir maior robustez e qualidade final da peça.

Outro ajuste importante envolveu o desenvolvimento de uma solução para remover a parte superior do reator sem deslocar o separador trifásico, o que exigiu a modelagem de uma estrutura que fixasse o separador trifásico à parte central do reator (ver Figura 3).

Figura 3: Estrutura interna do reator UASB



Fonte: Autor

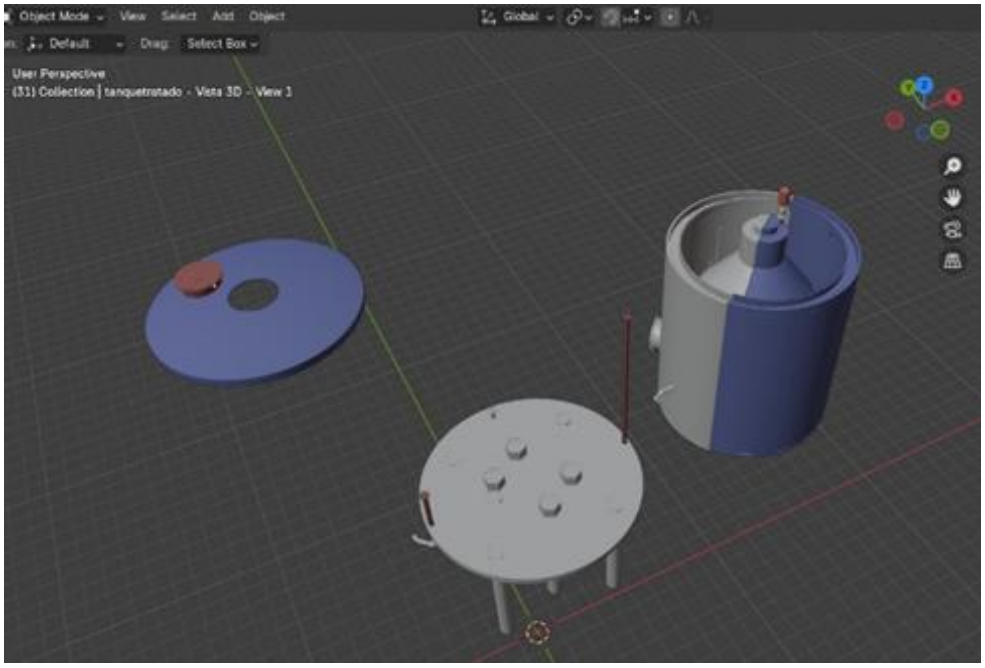
Para o tratamento prévio das peças foi escolhido o software *Blender* por ser um software de código aberto amplamente utilizado para animações e design 3D, além de oferecer um módulo de exportação/importação compatível com modelos IFC. Esse módulo, baseado na biblioteca *IfcOpenShell*, possibilita a importação e o tratamento de modelos preparados em softwares BIM, como o Revit [10].

Para facilitar a manipulação e o tratamento no *Blender*, o modelo do reator UASB foi dividido em três partes: tampa, tanque e base (ver Figura 4).

Primeiramente, foi realizada a edição do tanque, onde a peça foi dividida verticalmente em duas partes, de forma que nenhum dos tubos internos fosse cortado. Além disso, foram realizados furos em formato de hexágonos na parte inferior do tanque para permitir o encaixe seguro na base.

Em seguida, o tratamento da base foi realizado com a remoção de tubos maiores, os quais foram impressos separadamente e posteriormente unidos à estrutura. Na tampa, que compreende a área do queimador de gás e saída do filtro, foram adicionados hexágonos para permitir o encaixe adequado com o tanque. Por fim, a tampa foi ajustada para garantir que suas dimensões se encaixassem perfeitamente no tanque.

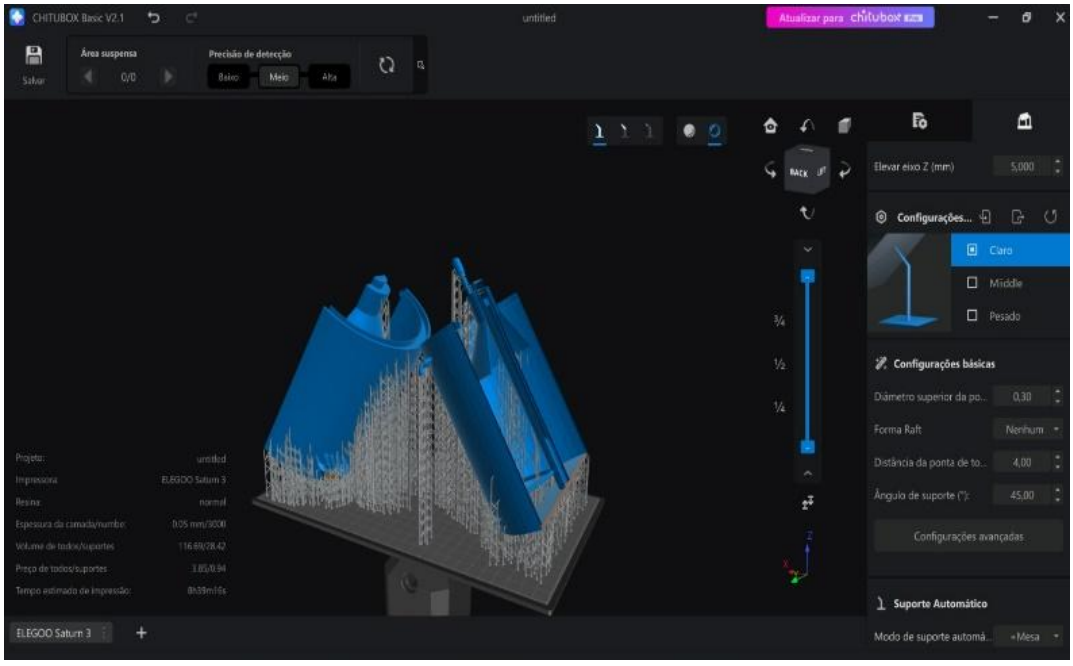
Figura 4: Parte superior, corpo do tanque e base tratados no Blender



Fonte: Autor

Após o tratamento individual de cada componente, os elementos passaram por uma verificação no *Blender* de proporções e de compatibilidade entre as partes, e em seguida prosseguiram para impressão. Na etapa final, utilizando o software *Chitubox*, as duas partes superiores do tanque foram ajustadas e escaladas (ver Figura 5). A impressão final levou aproximadamente 8 horas e 39 minutos para ser concluída (ver Figura 6).

Figura 5: Reator UASB importado para o Chitubox



Fonte: Autor

Figura 6: Impressão final na impressora de resina





Fonte: Autor

Após a conclusão, as peças foram submetidas a um processo de limpeza para remover o excesso de resina, seguido da remoção dos suportes (ver Figura 7).

Figura 7: Etapa de limpeza das peças





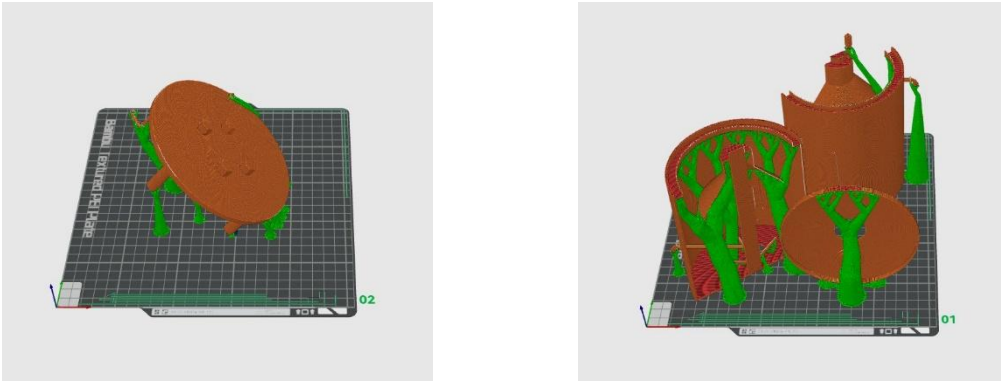
Fonte: Autor

Após a conclusão da limpeza e secagem, a peça foi submetida ao processo de cura, que envolve sua exposição à luz ultravioleta (UV) em um equipamento específico. Esse procedimento foi realizado por um período previamente determinado, garantindo que a resina solidificasse por completo e que a peça adquirisse sua resistência final.

CASO 2: TESTES DE IMPRESSÃO 3D NA IMPRESSORA DE FILAMENTO

Simultaneamente aos testes com a impressora de resina, foi iniciado o processo de testes utilizando a impressora de filamento *Bambulab X1 Carbon*, uma máquina avançada projetada para impressão 3D FDM (*Fused Deposition Modeling*). Para isso, utilizou-se o software proprietário *BambuStudio* como plataforma de fatiamento, onde foi necessário importar o modelo tratado no formato "STL" para preparar a impressão. O fatiamento consiste na divisão do modelo em camadas, que serão impressas sucessivamente pela máquina (ver Figura 8).

Figura 8: Etapa de tratamento das peças do reator UASB no BambuStudio



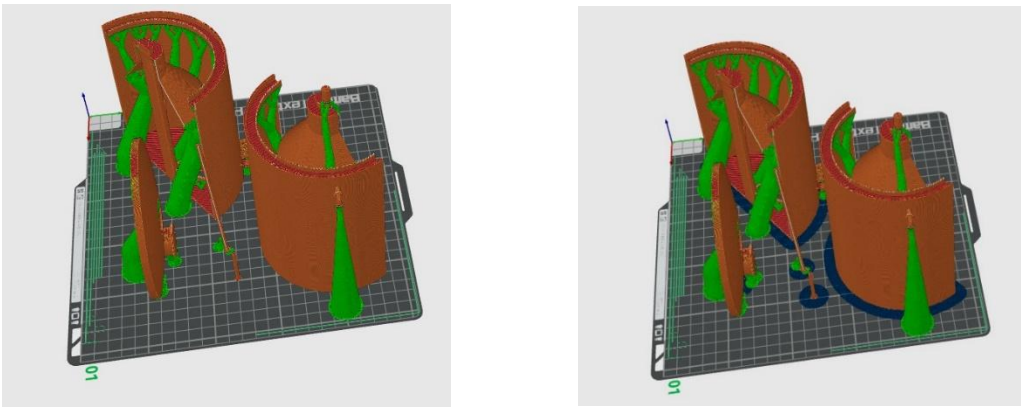
Fonte: Autor

No início do processo de impressão, é essencial determinar o tipo de filamento a ser utilizado, pois a temperatura de impressão ideal varia conforme o material escolhido. Cada filamento possui características específicas de fluxo, aderência e resistência, exigindo ajustes precisos de temperatura para evitar falhas. Neste estudo, optou-se por iniciar a impressão com PLA (Ácido Polilático), um material popular por sua facilidade de uso e baixa contração térmica. A temperatura ideal do bico extrusor varia entre 200°C e 220°C, enquanto a cama aquecida deve estar configurada entre 50°C e 60°C. Para maximizar a qualidade da impressão, definiu-se a temperatura do bico em 220°C e a da cama em 50°C, assegurando uma boa aderência das camadas e um fluxo uniforme do material.

Quando se trata de materiais mais complexos, como o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), que proporciona maior resistência mecânica e térmica, o controle de temperatura torna-se ainda mais crítico. Para o ABS, a temperatura do bico deve ser ajustada entre 210°C e 250°C, e a cama aquecida deve operar entre 80°C e 110°C, evitando contração excessiva e rachaduras. No teste com ABS, foram configuradas temperaturas de 270°C para o bico e 90°C para a cama, utilizando cola bastão na superfície da cama para aprimorar a aderência inicial do material.

Durante o processo de impressão, especial atenção deve ser dada às primeiras cinco camadas, pois elas são fundamentais para a aderência da peça à cama de impressão. Se essas camadas não aderirem corretamente, há um alto risco de falha na impressão, seja pela deformação da peça ou pelo deslocamento em relação à cama. Para aumentar a estabilidade e a probabilidade de sucesso, foi utilizada a configuração de *brim* (ver Figura 9), que cria uma borda extra ao redor da peça, ampliando a área de aderência nas camadas iniciais.

Figura 9: Tanque UASB sem brim (dir.) e com brim (esq.)



Fonte: Autor

Após o fatiamento no *BambuStudio*, todas as informações relevantes sobre a impressão são exibidas no painel lateral direito do *software*. Essas informações incluem o tempo estimado de impressão e a quantidade de filamento necessária.

Para o modelo testado em PLA, o tempo de impressão foi de 17 horas e 54 minutos, e o consumo de filamento foi de cerca de 530g. No presente caso foi utilizado o PLA branco para a produção do reator enquanto o PLA grafite foi destinado para a base (ver Figura 10).

Figura 10: Impressão final do reator na impressora de filamento utilizando PLA

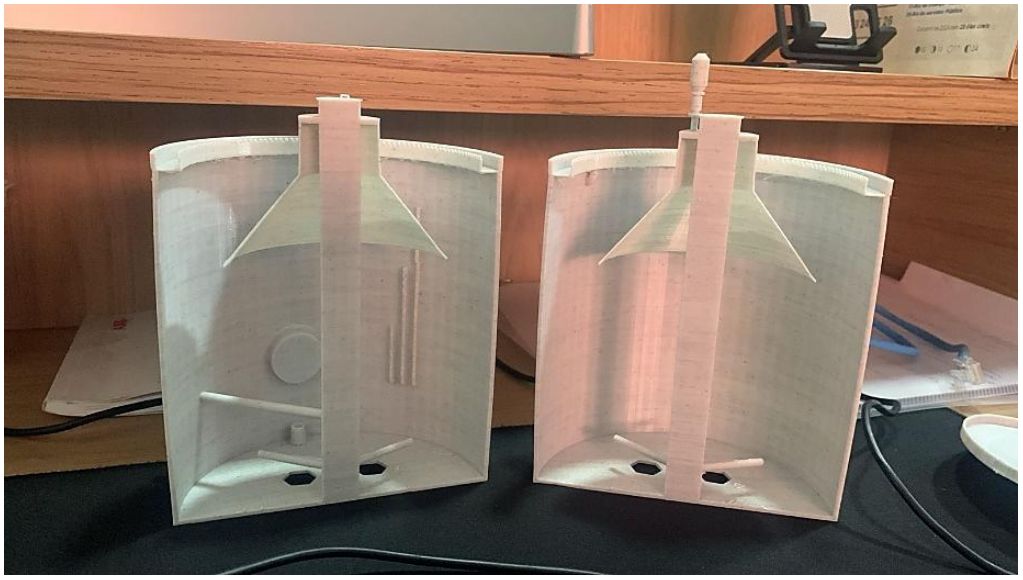


Fonte: Autor

A estrutura em PLA apresentou fragilidades consideráveis, especialmente ao remover os suportes gerados pelo fatiador, o que revelou uma resistência insuficiente em determinadas áreas. Esse problema foi atribuído à inadequação do material utilizado para suportar as tensões nas regiões mais delicadas. Diante disso, optou-se por testar outro material alternativo, o ABS.

Para o modelo testado em ABS, o tempo de impressão foi de 17 horas e 39 minutos, e o consumo de filamento foi de aproximadamente 374 gramas (ver Figura 11).

Figura 11: Impressão final do reator na impressora de filamento utilizando ABS



Fonte: Autor

Após a conclusão dos testes de impressão com o reator UASB, foi dada a continuidade ao processo de impressão da estação de tratamento de esgoto completa. Neste caso foi utilizado a impressora de filamento e o material ABS para o desenvolvimento de todas as unidades de tratamento.

DA COMPATIBILIZAÇÃO DO PROTÓTIPO 3D COM O MODELO BIM

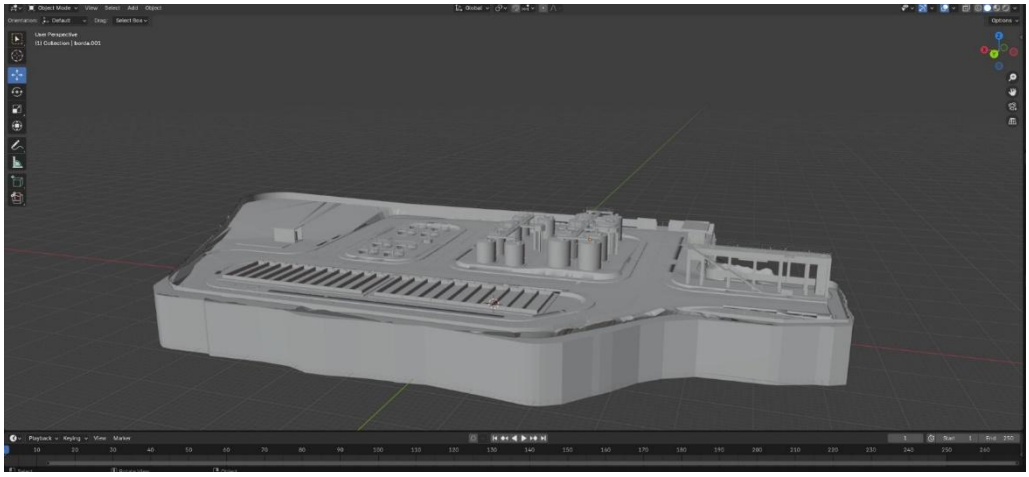
A compatibilização da impressão com os elementos do modelo BIM, referente a terceira e última etapa do presente item, foi um processo essencial para garantir que o protótipo 3D geral da ETE estivesse em conformidade com o modelo digital.

A avaliação do protótipo envolveu uma análise detalhada das dimensões, proporções e geometrias dos componentes, verificando se os elementos impressos refletiam com precisão os parâmetros estabelecidos no modelo BIM.

Para assegurar a correta reprodução, foi necessário validar a exatidão de detalhes como espessura das paredes, alinhamento das estruturas e a representação dos sistemas estruturais, hidromecânicos e arquitetônicos (ver Figura 12).

Durante a verificação e tratamento, foram utilizados critérios como fidelidade ao projeto original, ausência de distorções e a funcionalidade dos componentes, garantindo que o protótipo impresso mantivesse a integridade necessária para simular com precisão a futura construção.

Figura 12: Tratamento da ETE compacta para impressão final



Fonte: Autor

RESULTADOS

Neste item, serão apresentados os resultados obtidos a partir das impressões 3D realizadas com resina e filamento. A análise comparativa entre as duas tecnologias baseou-se em critérios gerais e específicos, consolidados na Tabela 1 a seguir. Esses critérios possibilitaram uma avaliação abrangente das vantagens e limitações de cada método de impressão. Além disso, a comparação considerou a adequação de cada tecnologia para diferentes etapas do protótipo, levando em conta a complexidade dos detalhes, a robustez das peças e os ajustes necessários durante o processo.

Tabela 1: Resultados obtidos das impressões em resina e filamento do tanque UASB

Tipo de impressão	**Resina**	**Filamento**	**Filamento**
Impressora	Elegoo Saturn 3 – 12K	Bambulab X1 Carbon	Bambulab X1 Carbon
Software de fatiamento	Chitubox	BambuStudio	BambuStudio
Material	Elegoo Water Washable Green	PLA (Ácido Polilático)	ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno)
Software de tratamento	Blender	Blender	Blender
Tempo total de impressão	08: 39	17:54	17:39
Temperatura ideal	mínimo de 23°C	50°C (cama) 220°C (bico)	90°C (cama) 270°C (bico)
Necessidade de lavagem?	Sim	Não	Não
Necessidade de cura?	Sim	Não	Não
Utiliza brim?	Não	Sim	Sim
Consumo de material	197g	530g	374g
Consumo de energia	180 W/h	350 W/h	350 W/h
Resistência estrutural	Média	Baixa	Alta
Precisão dimensional	Bom	Média	Média
Qualidade da superfície	Bom	Média	Média

Fonte: Autor

Com base nos resultados apresentados acima, tem-se que o ABS mostrou maior resistência a impactos em comparação ao PLA, permitindo a remoção dos suportes sem danificar áreas delicadas e oferecendo mais robustez ao modelo. O PLA é fácil de trabalhar, mas possui baixa resistência a temperaturas elevadas e pode quebrar sob estresse ou impacto. Já o ABS se destaca pela resistência mecânica e térmica, oferecendo uma estrutura mais robusta e resistente a impactos.

Tanto o ABS quanto o PLA apresentaram faixas próximas de consumo de energia e de tempo de impressão. A diferença entre eles no que diz respeito ao consumo de material também é insignificante.

Embora o PLA proporcione uma boa precisão, as tolerâncias podem variar devido a fatores como temperatura de impressão e qualidade do filamento. As superfícies podem não ser tão lisas quanto as impressões em resina. Já a precisão do ABS é geralmente boa, mas pode ser afetada pela contração durante o resfriamento, levando a distorções. É importante otimizar as configurações de impressão para minimizar essas variações.

As superfícies do PLA ficaram razoavelmente lisas, mas não atingiram a qualidade de acabamento da impressão em resina, bem como o ABS que ofereceu uma qualidade de superfície intermediária, com superfícies não tão lisas também quanto a impressão em resina.

Na impressão com resina, o protótipo apresentou alta precisão para reproduzir geometrias mais complexas com detalhes refinados e superfícies lisas, evidenciando a adequação dessa tecnologia para acabamentos delicados. No entanto, seu consumo de energia, em relação ao PLA e ABS, é maior devido à necessidade de expor as peças à luz UV durante o processo de cura, além do tempo necessário para a preparação e limpeza da resina.

As peças impressas em resina apresentaram boa rigidez e detalhamento, mas ficaram mais frágeis sob impacto e menos resistentes a altas temperaturas. A resistência final depende de cura adequada.

Por fim, devido à disponibilidade das impressoras de resina e filamento, este estudo não considerou os custos das máquinas de impressão, o que poderia impactar na escolha da tecnologia.

CONCLUSÃO

A integração entre BIM e impressão 3D representa um avanço significativo no setor de construção, oferecendo benefícios claros em termos de visualização, comunicação e validação de projetos complexos. Essa sinergia permite a criação de maquetes físicas altamente detalhadas, derivadas diretamente dos modelos digitais, o que facilita a identificação de problemas e otimiza o planejamento de obras. No caso do projeto da ETE, a impressão 3D materializou componentes estruturais, complementando o modelo BIM e proporcionando uma compreensão mais clara de aspectos como dimensões e interferências, essencial para a eficiência na execução de obras.

Apesar das vantagens, a impressão 3D apresenta desafios técnicos e práticos. A impressão com resina, por exemplo, é altamente precisa, ideal para acabamentos detalhados, mas exige etapas adicionais de limpeza e cura, aumentando o tempo e o consumo de energia. O PLA, utilizado em maquetes iniciais, mostrou fragilidades estruturais que limitam sua aplicação em protótipos que exigem maior durabilidade. Em contraste, o ABS se destacou pela robustez, sendo mais adequado para protótipos que precisam resistir a testes de manuseio e apresentam maior integridade estrutural.

A aplicação prática da impressão 3D na construção ainda depende de fatores como o tipo de material, a escala do projeto e o custo-benefício. A resina é recomendada para componentes que exigem alto detalhamento, enquanto o ABS é mais viável para protótipos maiores e mais resistentes. No contexto de "Construção 4.0", essa combinação de BIM e impressão 3D reflete uma tendência de inovação que promete melhorar a produtividade e a precisão na construção, embora a viabilidade econômica e

técnica de cada aplicação deva ser cuidadosamente avaliada conforme as demandas específicas de cada projeto.

REFERÊNCIAS

[1] BARBOZA, A. DA S. R. et al. Os ganhos do uso da prototipagem em edificação. Recife: [s.n.].

[2] BERMAN, B. 3-D printing: the new industrial revolution. Business Horizons, v. 55, n. 2, p. 155-162, 1 mar. 2012.

[3] BESKLUBOVA, S.; SKIBNIEWSKI, M. J.; ZHANG, X. Factors affecting 3D printing technology adaptation in construction. Journal of Construction Engineering and Management, v. 147, p. 04021026, 2021. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0002034

[4] CAO, X. et al. 3D printing devices and reinforcing techniques for extruded cement-based materials: a review. Buildings, MDPI, 1 abr. 2022.

[5] CLARK, K. B.; CHEW, W. B.; FUJIMOTO, T. Manufacturing for design: beyond the production/R&D dichotomy. In: SUSMAN, Gerald I. (Ed.). Integrating design and manufacturing for competitive advantage. Oxford: Oxford University Press, 1992.

[6] DANKAR, I. et al. 3D printing technology: the new era for food customization and elaboration. Trends in Food Science & Technology, v. 75, p. 231-242, 1 maio 2018. Disponível em: https://pure.korea.ac.kr/en/publications/trends-in-3d-printing-technology-for-construction-automation-usin

[7] GARCÍA-ALVARADO, R. et al. From BIM model to 3D construction printing: a framework proposal. Frontiers of Architectural Research, v. 13, n. 4, p. 912-927, 1 ago. 2024.

[8] GHABEN, R. K.; JAARON, A. A. Identifying and assessing innovation factors in construction projects in Palestine: an empirical study. International Journal of Project Organisation and Management, v. 9, p. 350-373, 2017. Disponível em: https://www.inderscience.com/info/inarticle.php?artid=88250

[9] HAGER, I.; GOLONKA, A.; PUTANOWICZ, R. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? Procedia Engineering, v. 151, p. 292-299, 1 jan. 2016.

[10] KIETZMANN, J.; PITT, L.; BERTHON, P. Disruptions, decisions, and destinations: enter the age of 3-D printing and additive manufacturing. Business Horizons, v. 58, n. 2, p. 209-215, 1 mar. 2015.

[11] LEE, D.; KIM, H.; SIM, J.; LEE, D.; CHO, H.; HONG, D. Trends in 3D construction printing technology for construction automation using text mining. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, v. 20, p. 871-882, 2019.

[12] MECHTCHERINE, V.; NERELLA, V. N.; WILL, F.; NÄTHER, M.; OTTO, J.; KRAUSE, M. Large-scale digital concrete construction: CONPrint3D concept for on-site, monolithic 3D-printing. Automation in Construction, v. 107, p. 102933, 2019.

[13] MURPHY, S.; ATALA, A. 3D bioprinting of tissues and organs. Nature Biotechnology, v. 32, p. 773-785, 2014. DOI: https://doi.org/10.1038/nbt.2958.

[14] OLIVEIRA, J. et al. Integração de metodologia BIM com ferramentas de impressão 3D. [s.l.: s.n.]. Disponível em: http://www.fe.up.pt.

[15] OLSSON, N. O. E. et al. Industry 4.0 in a project context: Introducing 3D printing in construction projects. Project Leadership and Society, v. 2, p. 100033, 1 dez. 2021.

[16] PERRIER, N.; BLED, A.; BOURGAULT, M.; COUSIN, N.; DANJOU, C.; PELLERIN, R.; ROLAND, T. Construction 4.0: a survey of research trends. ITcon, v. 25, p. 416-437, 2020.

[17] RAYNA, T.; STRIUKOVA, L. From rapid prototyping to home fabrication: how 3D printing is changing business model innovation. Technological Forecasting and Social Change, v. 102, p. 214-224, 1 jan. 2016.

[18] WU, P.; WANG, J.; WANG, X. A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. Automation in Construction, v. 68, p. 21-31, 1 ago. 2016.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Integração BIM e GIS na análise de traçados rodoviários: uma abordagem baseada em indicadores de desempenho

Integrating BIM and GIS in highway alignment analysis: a performance indicator-based approach

José Vinícius Silva Martins | Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG) | contato.jvsmartins@gmail.com | 0000-0002-4158-2639

Francisco Weslley Paiva Castelo | Universidade de São Paulo (USP) | fwpc_eng@hotmail.com | 0009-0002-5500-8512

Bruna Bezerra Vieira | Instituto de Pós-Graduação e Graduação (IPOG) | arqbrubvieira@gmail.com | 0009-0004-1265-8448

DOI: 10.5281/zenodo.14478574

Resumo

Este trabalho visa analisar e planejar um projeto rodoviário, integrando *Building Information Modeling* (BIM) e Geographic Information Systems (GIS). O foco é a utilização de indicadores de desempenho para otimizar a escolha de traçados. Para alcançar esse objetivo, foram utilizados softwares BIM e GIS, que possibilitaram a realização de análises geométricas e espaciais, permitindo uma compreensão das condições topográficas, geográficas e ambientais da área em estudo. Para a análise, foram selecionados três indicadores principais, fundamentados na literatura: o acréscimo sobre a diretriz, que avalia a eficiência horizontal do traçado; a porcentagem de declividades anômalas, que examina a inclinação dos aclives e declives; e as interferências por quilômetro, que identificam obstáculos e situações adversas que podem impactar o projeto, como corpos d'água, imóveis e áreas de preservação ambiental. O indicador de interferências abrange a análise de áreas passíveis de desapropriação, além da avaliação de componentes ambientais relevantes, como unidades de conservação, sítios arqueológicos, terras indígenas, territórios quilombolas e aspectos hidrológicos. Essa abordagem permite uma visão abrangente do impacto do traçado proposto na paisagem e nos ecossistemas locais, assegurando que as decisões tomadas considerem as implicações sociais e ambientais. Importante destacar, ainda, que foi realizada a extração de quantitativos em BIM, o que otimizou o cálculo de estimativas de custos com base no Custo Médio Gerencial (CMG) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Os resultados do estudo de caso apresentado neste trabalho demonstram que a integração BIM e GIS não apenas facilita a visualização e a análise dos traçados, mas também proporciona uma gestão mais eficaz das interferências ambientais e sociais, contribuindo para um planejamento mais sustentável e alinhado às melhores práticas contemporâneas de engenharia, além de aprimorar as estimativas de custo. A aplicação dos indicadores de desempenho permitiu a identificar alternativas de traçado que se destacaram pela maior eficiência, evidenciando uma redução significativa nas interferências, como a minimização de desapropriações e o respeito às áreas de proteção ambiental. A análise revelou que a utilização integrada dessas tecnologias possibilita uma abordagem dinâmica e informada na tomada de decisões, resultando em projetos que atendem às crescentes demandas por eficiência, sustentabilidade e responsabilidade social no setor de transportes. Este estudo evidencia a relevância

da utilização conjunta de BIM e GIS na engenharia de transportes, sugerindo que essa abordagem pode efetivamente modernizar o planejamento rodoviário. Por fim, enfatiza a importância de considerar tanto os aspectos técnicos quanto os ambientais na elaboração de projetos de infraestrutura, visando não apenas a minimização de impactos negativos, mas também a otimização dos recursos utilizados. A metodologia adotada possui um potencial significativo para aplicação em diferentes contextos, contribuindo para a melhoria contínua das práticas de planejamento e execução de obras rodoviárias, promovendo um desenvolvimento mais eficiente e sustentável em relação ao uso dos recursos naturais e ao equilíbrio ambiental.

Palavras-chave: BIM. GIS. Projetos rodoviários. Indicadores de desempenho. Planejamento.

Abstract

This paper aims to analyze and plan a highway project by integrating Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information Systems (GIS). The main focus is on using performance indicators to optimize route selection, which is crucial for the success of highway projects. To achieve this, BIM and GIS software were employed to conduct detailed geometric and spatial analyses, providing important insights into the topographic, geographic, and environmental conditions of the study area. Three key indicators were chosen for analysis based on existing literature: deviation from the baseline, which evaluates how efficient the horizontal alignment is; the percentage of abnormal slopes, which looks at the inclines and declines of the terrain; and interferences per kilometer, which identifies obstacles that could affect the project, such as water bodies, buildings, and areas designated for environmental protection. These indicators are important for understanding the complexities of highway design, ensuring that the selected route minimizes negative impacts while maximizing overall efficiency. The interference indicator also includes an assessment of areas that may require expropriation and considers relevant environmental factors, including conservation units, archaeological sites, indigenous lands, quilombola territories, and hydrological features. This comprehensive approach helps to understand how the proposed route might affect local landscapes and ecosystems, ensuring that both social and environmental aspects are taken into account during the planning phase. Furthermore, BIM was utilized for quantity extraction, which greatly improved cost estimates based on the Custo Médio Gerencial (CMG) provided by the Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Brazil's national department for transport infrastructure. Using BIM not only enhances the accuracy of these estimates but also streamlines project management, allowing stakeholders to allocate resources more effectively and prepare for potential challenges. The results from the case study demonstrate that integrating BIM and GIS facilitates better route visualization and analysis, while also enabling more effective management of environmental and social interferences. This integration supports sustainable planning that aligns with contemporary engineering practices and improves cost estimates. By applying performance indicators, the study identified more efficient route alternatives, significantly reducing interferences such as expropriations and ensuring respect for environmental protection areas. The analysis shows that using these technologies together promotes informed decision-making, resulting in highway projects that meet the increasing demands for efficiency, sustainability, and social responsibility in transportation. This study highlights the importance of combining BIM and GIS in transportation engineering, suggesting that this integrated approach can modernize highway planning effectively. It also emphasizes the need to consider both technical and environmental factors when designing infrastructure projects, aiming to minimize negative impacts while optimizing resource use. The methodology developed here has significant potential for various applications, contributing to the ongoing improvement of highway planning and execution practices, and promoting a more efficient and sustainable approach to natural resource management and environmental balance.

Keywords: BIM. GIS. Highway projects. Performance indicators. Planning.

INTRODUÇÃO

A integração de *Building Information Modeling* (BIM) e Geographic Information Systems (GIS) tornou-se uma abordagem interessante para a gestão de projetos de infraestrutura de transportes [1]. Com a crescente demanda por sistemas de transporte mais sustentáveis, é importante que a tecnologia não apenas melhore a visualização e o gerenciamento dos projetos, mas também permita uma análise detalhada das variáveis que impactam a viabilidade das construções [2].

Essa combinação de BIM e GIS pode ajudar engenheiros e planejadores a unirem dados espaciais e informações técnicas, resultando em decisões mais embasadas que consideram as complexidades

geográficas e ambientais [3]. A análise de traçados rodoviários, por exemplo, deve abordar não apenas aspectos técnicos, mas também os impactos socioambientais das intervenções [4]. Os indicadores de desempenho, como acréscimo sobre a diretriz, porcentagem de declividades anômalas e interferências por quilômetro, são fundamentais para avaliar alternativas de traçado, ajudando a identificar soluções que minimizam desapropriações e respeitam áreas de proteção ambiental.

Portanto, a integração BIM e GIS pode não somente otimizar a eficiência dos projetos, mas também promover um planejamento responsável e sustentável. Este estudo analisa como essas ferramentas podem ser aplicadas na avaliação de traçados rodoviários, facilitando a investigação das condições do terreno e melhorando a gestão das interferências sociais e ambientais. O objetivo é demonstrar como essa abordagem pode modernizar o planejamento rodoviário, levando em conta as realidades locais e contribuindo para um futuro mais sustentável.

INTEGRAÇÃO BIM E GIS E INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

BIM E GIS

A integração de BIM e GIS tem ganhado destaque na análise de projetos de infraestrutura, especialmente na concepção de traçados rodoviários [5] mostram que essa integração é fundamental para otimizar processos e melhorar a eficiência no planejamento. O BIM, focado em modelagem tridimensional e na gestão de informações construtivas, oferece uma visão detalhada dos elementos físicos e funcionais de uma obra [6]. Por outro lado, o GIS proporciona um contexto geoespacial essencial, permitindo a visualização e análise de dados geográficos que influenciam decisões de planejamento e operação [7].

A combinação dessas duas abordagens pode resultar em uma ferramenta poderosa para a avaliação de desempenho de traçados, permitindo uma análise mais holística e integrada [8]. Estudos recentes destacam a importância dessa integração na otimização de processos, identificação de conflitos e na avaliação de impactos ambientais [9]. Ao unir dados geoespaciais e informações detalhadas de construção, é possível desenvolver indicadores de desempenho que consideram tanto aspectos técnicos quanto contextuais [5]. Essa abordagem não apenas melhora a eficiência do planejamento, mas também potencializa a colaboração entre diferentes partes interessadas, promovendo uma tomada de decisão mais informada e ágil [7].

INDICADORES DE DESEMPENHO EM ESTUDOS DE TRAÇADOS

No contexto dos estudos de traçados rodoviários, os indicadores de desempenho fornecem uma análise quantitativa e objetiva de fatores críticos na definição de rotas, permitindo a avaliação comparativa de alternativas de traçado [10]. Entre os principais indicadores utilizados, destacam-se o acréscimo sobre a diretriz (ET1), que mede a eficiência do traçado em relação à linha reta; a porcentagem de declividades anômalas (ET2), que identifica inclinações fora dos parâmetros normativos, essenciais para garantir segurança e eficiência operacional; e o indicador de interferências por quilômetro (ET3), que quantifica obstáculos significativos, como corpos d'água e redes de alta tensão [10]. Esses indicadores ajudam a avaliar a viabilidade técnica e funcional do traçado, destacando-se por priorizar eficiência e segurança, sobretudo em regiões com desafios geográficos.

A aplicação desses indicadores permite uma análise multicritério que embasa a seleção de alternativas de traçado mais adequadas. Por exemplo, quanto menor o valor de ET1, mais próximo o traçado está de uma rota direta, o que geralmente implica menores custos operacionais e menor impacto ambiental [11]. Indicadores como o de declividades anômalas (ET2) e interferências por quilômetro (ET3) são

essenciais para identificar desafios técnicos e de construção que podem aumentar os custos e o tempo de execução [12]. Dessa forma, o uso estruturado desses indicadores no processo de avaliação contribui para otimizar o traçado em relação a fatores críticos de desempenho, estabelecendo uma base objetiva para a escolha da melhor solução.

METODOLOGIA

Este trabalho integra BIM e GIS na análise de traçados rodoviários, utilizando o Quantum GIS (QGIS) como ferramenta principal para a análise espacial e a avaliação de indicadores de desempenho e os softwares BIM, Autodesk Civil 3D e Navisworks, para modelagem dos traçados selecionados e extração de quantitativos que viabilizaram estimativas de custos com base no Custo Médio Gerencial (CMG) do DNIT [13].

ANÁLISE DE TRAÇADOS RODOVIÁRIOS COM QUANTUM GIS

O QGIS permitiu analisar diferentes alternativas de traçados rodoviários, considerando variáveis como topografia, hidrografia e impacto ambiental. Para isso, foram importadas camadas de dados essenciais, incluindo mapas topográficos, hidrológicos e de uso do solo. Com o uso das ferramentas de análise espacial do QGIS, foi possível avaliar múltiplas opções de traçado, enquanto mapas temáticos foram criados para ilustrar as características e as implicações sociais e ambientais de cada alternativa.

A identificação de áreas passíveis de desapropriação utilizou bases do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) e do Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), que fornecem dados sobre propriedades e limites territoriais. Para avaliar os componentes ambientais que poderiam ser impactados, recorreu-se à base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Por fim, na análise hidrológica, foi considerada a proximidade dos traçados em relação a corpos d'água, como rios e lagos, para avaliar os potenciais impactos sobre esses recursos hídricos.

INDICADORES DE DESEMPENHO

Os indicadores de desempenho são fundamentais para a avaliação da eficiência e sustentabilidade dos traçados rodoviários. Para este estudo, serão considerados os seguintes indicadores [10], com base nas diretrizes apresentadas em [14]:

- Acréscimo sobre a Diretriz (ET1): Este indicador mede o desvio do traçado em relação à linha reta ideal, a diretriz, e é calculado pela fórmula $\mathrm{ET1} = \left(\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{D}}\text{-}1\right) \times 100$, onde E é a extensão do trecho em metros e D é a distância em linha reta. Um valor menor indica um traçado mais eficiente;
- Porcentagem de Declividades Anômalas (ET2): Avalia a proporção de trechos com declividades superiores ao limite estabelecido por normas, calculado pela fórmula $\mathrm{ET2} = \left(\frac{\sum \mathrm{EA} + \sum \mathrm{ED}}{\mathrm{E}}\right) \times 100$, onde EA e ED são as extensões em aclives ou declives anômalos. Valores menores são desejáveis.
- Interferências por Quilômetro (ET3): Este indicador quantifica as interferências ao longo do traçado, como construções, áreas passíveis de desapropriação, componentes ambientais e corpos d'água, calculado pela fórmula $\mathrm{ET3} = \frac{\sum \mathrm{I}}{\mathrm{E}}$, onde I representa o número total de interferências e E é a extensão do trecho em quilômetros. Novamente, valores menores indicam um melhor desempenho.

Após o cálculo dos indicadores de desempenho, será realizada a soma ponderada normalizada dos valores obtidos, aplicando os pesos definidos segundo a lógica estabelecida por [10]. Especificamente, para o indicador ET1 será atribuído um peso de 20%, enquanto o indicador ET2 receberá 40% e o ET3,

igualmente, 40%. Dessa forma, o traçado que apresentar o menor valor no somatório ponderado será considerado o de melhor desempenho técnico no estudo de traçado.

EXTRAÇÃO DE QUANTITATIVOS E ESTIMATIVAS DE CUSTOS

A extração de quantitativos para estimativas de custos envolveu a criação e análise de modelos BIM no Autodesk Civil 3D, onde foram gerados os elementos necessários, como volumes de escavação, áreas de pavimentação, elementos estruturais, entre outros.

Após a modelagem no Civil 3D, o Navisworks foi usado para coordenar os modelos e extrair os quantitativos preliminares, garantindo a consolidação de dados de todas as disciplinas para análise de custos. Esses quantitativos foram levantados das três melhores alternativas de traçado, selecionadas com base nos indicadores de desempenho, para comparar as estimativas de custos e determinar a opção mais vantajosa.

Para a estimativa de custos, utilizou-se o CMG do DNIT [13], uma referência nacional com valores médios de serviços e insumos para obras de infraestrutura de transportes. Esse custo considera variáveis como mão de obra, materiais e equipamentos, sendo uma base para cálculos em projetos rodoviários.

Com a aplicação do CMG aos quantitativos obtidos, foi possível gerar uma estimativa realista e padronizada para cada alternativa de traçado, facilitando a escolha da opção mais eficiente e economicamente viável.

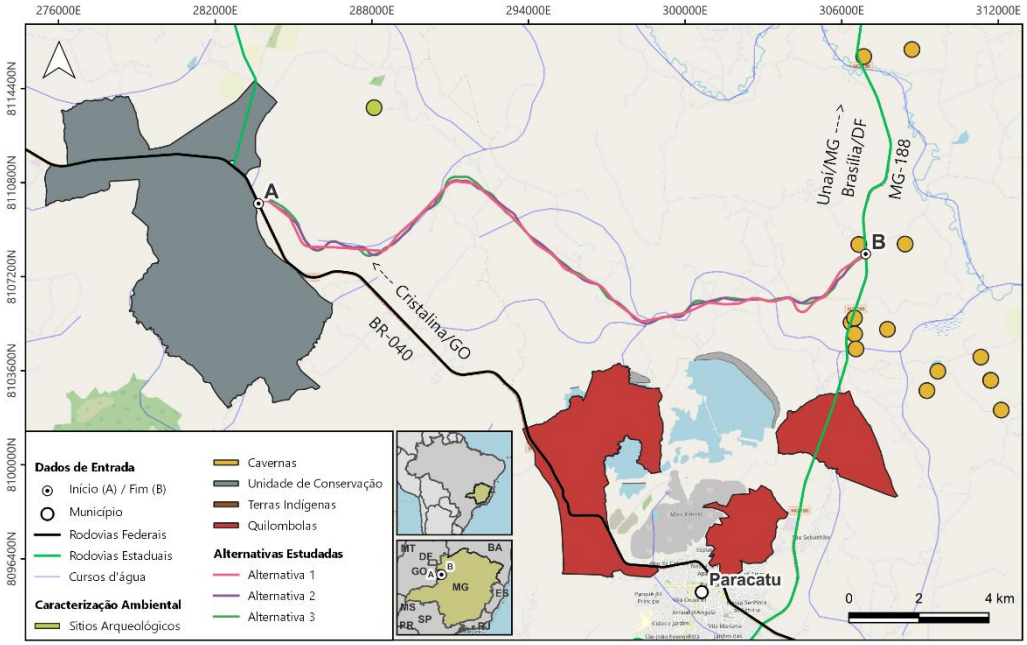
ESTUDO DE CASO

Esta pesquisa tem como estudo de caso a implantação hipotética de um contorno rodoviário em pista dupla, conectando a rodovia BR-040 a MG-188 nas proximidades do município de Paracatu-MG, Brasil, com o objetivo de promover a otimização do fluxo de tráfego interurbano.

A proposta visa reduzir a interferência do tráfego de passagem no ambiente urbano de Paracatu, direcionando veículos de carga e de longo percurso diretamente entre a BR-040, o município de Unaí-MG e o Distrito Federal.

Tal intervenção busca melhorar a eficiência operacional da malha viária, minimizando conflitos de tráfego e potencializando a segurança viária para a travessia local. A Figura ilustra o mapa de situação do empreendimento proposto.

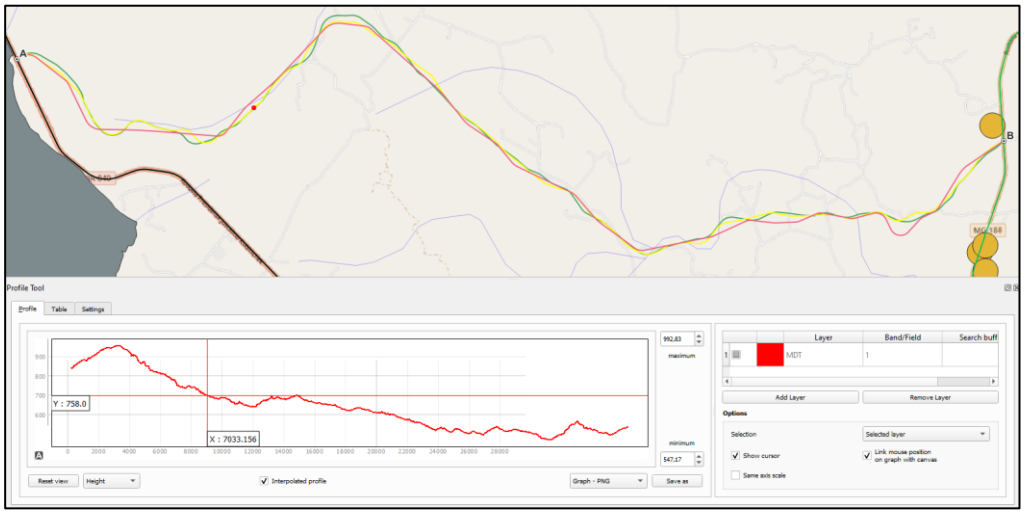
Figura 1: Localização da implantação do projeto.



Fonte: Os autores.

Com a definição do estudo de caso, aplicou-se a metodologia proposta para analisar os traçados com base nos indicadores de desempenho. Esse processo resultou na seleção das três alternativas de traçado com melhor desempenho, mostradas na Figura . No total, foram avaliadas 10 alternativas, das quais foram escolhidas as três mais eficientes conforme os indicadores, cujos resultados detalhados estão nas Tabelas 1 a 5.

Figura 2: Análise das três alternativas de traçado com melhor desempenho no QGIS.



Fonte: Os autores.

Tabela 1: Resultados do indicador ET1 - Acréscimo sobre a diretriz.

Alternativa	Extensão do Trecho (m) (E)	Distância em Diretriz (m) (D)	ET1 (%)
1	28.581,9546	23.340,4620	22,46%
2	28.581,9546	23.340,4620	22,46%
3	29.152,2928	23.340,4620	24,90%

Fonte: Os autores.

Tabela 2: Resultados do indicador ET2 - Porcentagem de declividade anômalas.

Alternativa	Declividade de Norma	Extensão do Trecho (m) (E)	Extensão Acima da Norma	ET2 (%)
1	8,00%	28.581,9546	6.734,86	23,56%
2	8,00%	28.581,9546	5.716,97	20,00%
3	8,00%	29.152,2928	5.928,12	20,34%

Fonte: Os autores.

Tabela 3: Resultados do indicador ET3 - Interferências por quilômetro.

Alternativa	Número de Interferências (un) (I)	Extensão do Trecho (m) (E)	E em km	ET3 (un/km)
1	185,00	28.581,9546	28,58	6,4726
2	186,00	28.581,9546	28,58	6,5076
3	184,00	29.152,2928	29,15	6,3117

Fonte: Os autores.

Tabela 4: Resumo dos resultados dos indicadores de desempenho.

Alternativa	ET1 (%)	ET2 (%)	ET3 (un/km)
1	0,2246	0,2356	6,4726
2	0,2246	0,2000	6,5076
3	0,6981	0,2034	6,3117
Soma	0,6981	0,6390	19,2919
Peso	0,2000	0,4000	0,4000

Fonte: Os autores.

Tabela 5: Soma ponderada normalizada dos indicadores para cada alternativa.

Alternativa	Soma dos Indicadores	Resultado
1	0,34604	3º
2	0,32447	1º
3	0,32949	2º

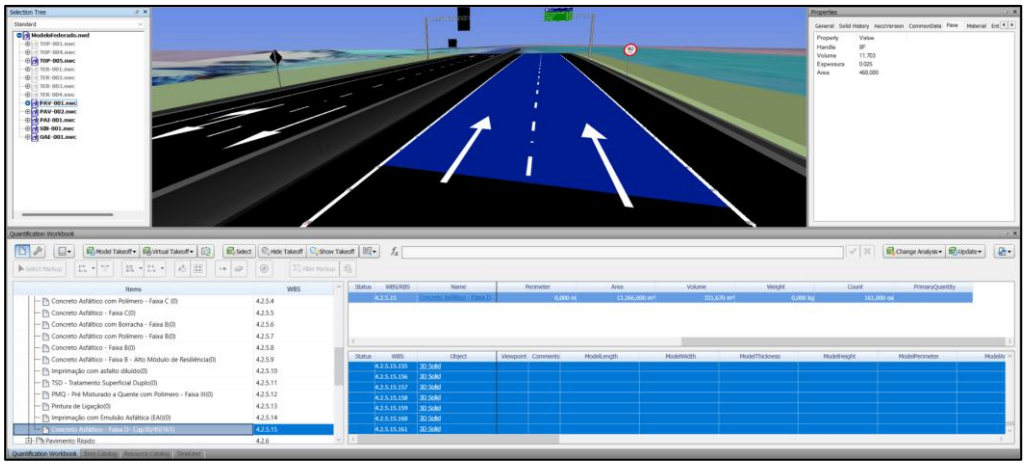
Fonte: Os autores.

A aplicação da metodologia revelou que a Alternativa 2 apresentou a menor soma ponderada dos indicadores de desempenho, seguido pela Alternativa 3 e, por fim, pela Alternativa 1. Portanto, a Alternativa 2 obteve o melhor desempenho técnico, mostrando-se como a mais eficiente no contexto

da análise do alinhamento rodoviário. Os dados indicam que esse traçado se destaca pela menor interferência ambiental e topográfica, o que corrobora sua adequação e efetividade em termos de impacto e viabilidade, cumprindo os objetivos de otimização e sustentabilidade definidos para o projeto.

Após a análise dos resultados dos indicadores de desempenho, foram modeladas as três melhores alternativas de traçado para a extração de quantitativos (Figura), visando calcular as estimativas de custos com base no CMG do DNIT. A Tabela , portanto, apresenta os custos estimados para cada uma das alternativas selecionadas.

Figura 3: Extração de quantitativos do modelo BIM da Alternativa 2 no Navisworks.



Fonte: Os autores.

Tabela 6: Custos médios para as alternativas com base no CMG/DNIT (abril de 2024)

Parcela	Custos Médios		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
CM1 - Mobilização e desmobilização	R$ 264.858,00	R$ 264.858,00	R$ 264.858,00
CM2 - Administração local	R$ 6.594.315,80	R$ 6.414.123,76	R$ 6.528.895,76
CM3 - Canteiro de obras	R$ 2.638.544,00	R$ 2.638.544,00	R$ 2.638.544,00
CM4 - Terraplenagem, drenagem e OAC, obras comp., sinalização e proteção ambiental	R$ 77.592.431,95	R$ 73.413.354,14	R$ 76.075.187,14
CM5 - Pavimentação, aquisição e transporte de material betuminoso	R$ 66.271.563,05	R$ 62.702.219,86	R$ 64.975.686,86
Total	R$153.361.712,80	R$ 145.433.099,76	R$ 150.483.171,76

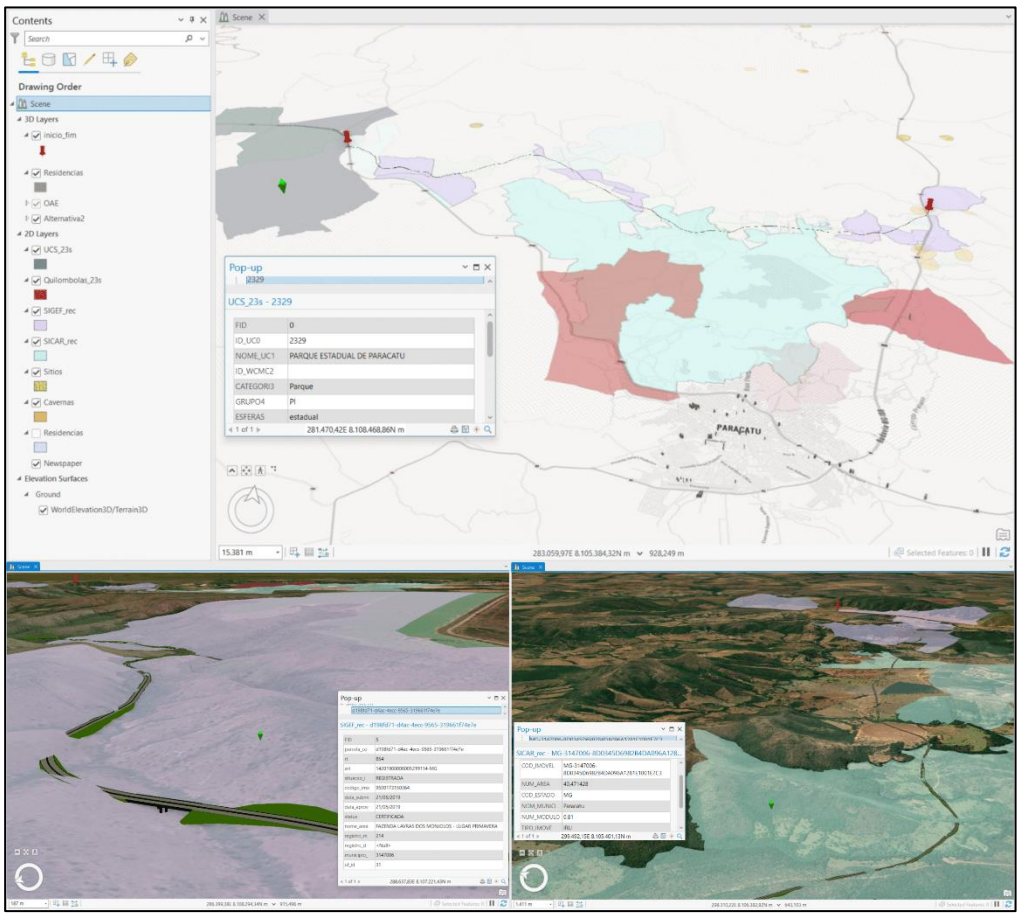
Fonte: Os autores.

A análise das estimativas de custos para as alternativas de traçado permitiu identificar diferenças relevantes entre as três opções. A Alternativa 2 destacou-se como a mais econômica. Essa economia foi impulsionada por menores despesas em itens críticos, como pavimentação e terraplenagem, aspectos que refletem sua adequação técnica conforme os indicadores de desempenho e sua vantagem em termos de viabilidade financeira.

DISCUSSÃO

Os métodos tradicionais de avaliação de traçados rodoviários, baseados em análises qualitativas e quantitativas isoladas, apresentam limitações na integração de dados espaciais e informações construtivas. Em contraste, os resultados do estudo de caso deste trabalho mostram que a combinação de BIM e GIS permite uma análise mais abrangente, fundamentada em indicadores de desempenho e precisão na extração de quantitativos. Esse método melhora a visualização dos projetos e facilita a identificação de interferências e a gestão ambiental, considerando aspectos como acréscimos sobre a diretriz, porcentagem de declividades anômalas e interferências por quilômetro (Figura). Estudos anteriores já demonstravam que essa integração é essencial para otimizar processos e aumentar a eficiência no planejamento, promovendo um desenvolvimento rodoviário mais sustentável [1][2].

Figura 4: Visualização integrada do modelo BIM com dados GIS no ArcGIS Pro.



Fonte: Os autores.

Além disso, pode-se perceber que a utilização conjunta de BIM e GIS proporciona uma análise dinâmica que abrange tanto variáveis técnicas quanto implicações socioambientais dos traçados. Isso resulta em decisões mais informadas, que minimizam desapropriações e respeitam áreas de proteção ambiental, contribuindo para um planejamento responsável. A metodologia adotada melhora as estimativas de custos e permite uma avaliação comparativa eficaz entre diferentes alternativas de traçado. Essa abordagem integrada tem o potencial de modernizar o planejamento de transportes, atendendo melhor às crescentes demandas por eficiência e sustentabilidade na engenharia de transportes.

CONCLUSÃO

A integração de BIM e GIS na análise de traçados rodoviários demonstra ser uma abordagem eficaz para otimizar o planejamento. Este estudo evidenciou que essa combinação não apenas melhora a visualização e a gestão das interferências ambientais e sociais, mas também contribui para um planejamento mais sustentável. Os indicadores de desempenho utilizados permitiram identificar alternativas de traçado com maior eficiência, reduzindo significativamente as interferências e respeitando as áreas de proteção ambiental.

A análise revela que a utilização conjunta dessas tecnologias promove uma tomada de decisão informada, resultando em projetos que atendem às demandas por eficiência e responsabilidade social no setor de transportes. A metodologia adotada possui potencial para ser aplicada em diferentes contextos, contribuindo para práticas de planejamento rodoviário mais eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

[1] ZHU, W.; WU, Y. Trends and opportunities of BIM-GIS integration in the architecture, engineering and construction industry: a review from a spatio-temporal statistical perspective. Journal of Building Performance, v. 12, n. 1, p. 1-15, 2021.

[2] WANG, X.; FANG, Y.; ANUMBA, C. A critical review of the integration of geographic information system and Building Information Modelling at the data level. Automation in Construction, v. 113, p. 103-117, 202.

[3] YOSINO, C. M. O.; FERREIRA, S. L. BIM and GIS integration for infrastructure asset management: a bibliometric analysis. Sustainable Cities and Society, v. 54, p. 1-10, 2020.

[4] GOSCH, Alessandra Costa. Tecnologias BIM e SIG aplicadas para a avaliação de impacto ambiental de alternativas de traçado rodoviário: estudo de caso da BR-135 BA. 2020. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

[5] KANG, S.; PARK, H.; KIM, C. A comprehensive review of BIM and GIS integration: current status and future directions. Journal of Building Performance, v. 11, n. 2, p. 1-12, 2020. DOI: 10.3803/jbp.2020.11.2.1.

[6] BORRMANN, A.; KREMER, J.; BÖRNER, A.; HENZLER, S.; KRAUSE, D. Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice. Cham: Springer, 2018. ISBN: 978-3-319-60234-7.

[7] AMIREBRAHIMI, S.; ZARE, M.; TAHMASEBI, M.; GHAFFARIANHOSSEINI, A.; ZAVAREH, M.B.M. Framework for integrating BIM and GIS in infrastructure projects. Automation in Construction, v. 102, p. 1-14, 2019. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.02.004.

[8] ZHANG, Y.; LIU, Y.; WANG, J.; LIU, X.; LIU, Y.; LIU, J. The role of integrated BIM and GIS in infrastructure development: a case study. International Journal of Information Systems for Crisis Response and Management, v. 13, n. 1, p. 1-20, 2021. DOI: 10.4018/IJISCRAM.20210101.

[9] LI, Y.; ZHANG, Y.; WANG, J.; XIAO, Y.; LIU, J.; LIU, Y. Evaluating the benefits of integrating BIM and GIS for sustainable urban development. Sustainable Cities and Society, v. 76, p. 103-115, 2022. DOI: 10.1016/j.scs.2021.10311.

[10] PONTO DE PARTIDA. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. PPP02-DIRETRIZES - Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários: escopos básicos/instruções de serviço. Disponível em: https://projetopontodepartida.notion.site/Projeto-Ponto-de-Partida-389a70d9086a4b8cbfd9e926f5fffc11. Acesso em: 27 outubro 2024.

[11] SILVA, J.A.; OLIVEIRA, M.R.; SANTOS, F.L. Análise de indicadores de desempenho em projetos rodoviários. Revista de Engenharia Civil, v. 12, n .3, p. 45-58 , 2020.

[12] OLIVEIRA ,T.; SILVA ,P .; COSTA ,R. Desempenho operacional em rodovias: uma abordagem quantitativa. Transport Research Part A, v. 135, p .123 -134, 2021.

[13] BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Custo Médio Gerencial. Disponível em: Portal do DNIT. Acesso em: 27 de outubro de 2024.

[14] BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários: escopos básicos/instruções de serviço. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 484 p. (IPR, 726).

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

O uso de tecnologias projetuais como estratégia de acessibilidade para adultos autistas

The use of design technologies as an accessibility strategy for autistic adults

Letícia Keroly Bezerra Alexandrino | Centro Universitário Christus | leticia.alexandrino@unichristus.edu.br | 0000-0002-0716-9429

DOI: 10.5281/zenodo.14478628

Resumo

A partir dos estudos que abordam as interrelações existentes entre o autismo e o ambiente construído, notou-se a importância da adequação dos ambientes para adultos autistas, principalmente, os de atendimentos que visam o desenvolvimento cognitivo e físico deles, melhorando, consequentemente, o desempenho ocupacional das suas atividades diárias. Ainda, notou-se uma carência de estudos que abordem o ambiente construído para o adulto autista, os quais limitam-se às crianças. No entanto, em decorrência das limitações apresentadas pelos autistas por causa do Transtorno e de suas variações em níveis de suporte, observou-se a necessidade de estratégias projetuais que facilitassem tanto a compreensão e a percepção do espaço construído por parte dos adultos autistas, quanto auxiliassem os arquitetos e designers no processo de elaboração do projeto. Diante de buscas a acerca da utilização de tecnologias projetuais para a compreensão do espaço, destacou-se o uso de realidades estendidas. No entanto, como o seu uso ainda é pouco relacionado ao autismo, surgiu o seguinte questionamento: Como as realidades estendidas podem ser utilizadas a fim de colaborar na acessibilidade de projetos arquitetônicos para autistas? O objetivo geral é analisar como a migração para o espaço virtual e o emprego das novas tecnologias de imersão e integração do setor da arquitetura podem colaborar para a elaboração de projetos acessíveis a adultos autistas. Trata-se de uma Revisão Narrativa da Literatura, de caráter qualitativo e que se desenvolveu por meio de buscas no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e Google Acadêmico a partir das palavras-chave “acessibilidade”, “arquitetura”, “realidades estendidas”, “autismo”, e “transtorno do espectro autista”. Os artigos selecionados deram origem a duas categorias de realidades estendidas na arquitetura que desempenham papel importante para a percepção dos projetos: 1) realidade aumentada; e 2) realidade virtual. Vale destacar que, apesar de serem discutidas individualmente, podem atuar em conjunto, porém suas influências se apresentam de forma diferente na percepção e experiências humanas quando aplicadas nos projetos arquitetônicos. A Realidade Virtual corresponde a uma técnica usada para representar ambientes construídos de forma digital tridimensional e acessados por meio de aparelhos imersivos como óculos de Realidade Virtual ou telas panorâmicas, nos quais os usuários podem interagir e explorar de forma imersiva com o ambiente virtual. Dessa forma, essa tecnologia permite com que as pessoas, independentemente de onde estejam fisicamente, consigam experienciar qualquer lugar no mundo. Já a Realidade Aumentada tem como propósito aumentar a realidade em que se vive, sendo definida como uma tecnologia que permite a sobreposição de elementos digitais sobre o mundo físico, se tornando importante para diversas aplicações e áreas, como visualização de projetos, simulação de ambientes e colaboração em equipe. Em resumo, tanto a Realidade Aumentada quanto a Realidade Virtual oferecem

oportunidades significativas para melhorar a acessibilidade e a inclusão de pessoas autistas, proporcionando experiências personalizadas e adaptáveis que atendam às suas necessidades específicas. No entanto, é crucial considerar os desafios únicos enfrentados pelos autistas e garantir que as aplicações de Realidades Estendidas sejam projetadas de acordo com as normas de acessibilidade. Conclui-se sobre a importância do uso da tecnologia para a inclusão de pessoas com deficiência, principalmente autistas, visto que as estratégias arquitetônicas existentes não podem ser aplicadas a todos os indivíduos em decorrência de suas particularidades. Dessa forma, através dessa estratégia ficará mais fácil de solucionar, antes mesmo de ser executado.

Palavras-chave: Arquitetura e urbanismo. Transtorno do espectro autista. *Building Information Modeling*. Realidade aumentada. Realidade virtual.

Abstract

Based on studies that address the interrelationships between autism and the built environment, it was noted the importance of adapting environments for autistic adults, especially those that provide care that aims at their cognitive and physical development, consequently improving the occupational performance of their daily activities. Furthermore, there was a lack of studies that address the built environment for autistic adults, which are limited to children. However, due to the limitations presented by autistic individuals due to the Disorder and their variations in support levels, it was observed the need for design strategies that facilitate both the understanding and perception of the built space by autistic adults, as well as assist architects and designers in the process of developing the project. In view of searches about the use of design technologies for understanding space, the use of extended realities stood out. However, since its use is still little related to autism, the following question arose: How can extended realities be used to contribute to the accessibility of architectural projects for autistic people? The general objective is to analyze how the migration to the virtual space and the use of new immersion and integration technologies in the architecture sector can contribute to the development of projects that are accessible to autistic adults. This is a qualitative Narrative Literature Review that was developed through searches in the Journal Portal of the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel and Google Scholar using the keywords "accessibility", "architecture", "extended realities", "autism", and "autism spectrum disorder". The selected articles gave rise to two categories of extended realities in architecture that play an important role in the perception of projects: 1) augmented reality; and 2) virtual reality. It is worth noting that, although they are discussed individually, they can act together, but their influences are presented differently in human perception and experiences when applied to architectural projects. Virtual Reality corresponds to a technique used to represent environments built in a three-dimensional digital way and accessed through immersive devices such as Virtual Reality glasses or panoramic screens, in which users can interact and explore the virtual environment in an immersive way. In this way, this technology allows people, regardless of where they are physically, to experience any place in the world. Augmented Reality, on the other hand, aims to enhance the reality in which one lives, being defined as a technology that allows the superposition of digital elements over the physical world, becoming important for several applications and areas, such as project visualization, environment simulation and team collaboration. In summary, both Augmented Reality and Virtual Reality offer significant opportunities to improve accessibility and inclusion for autistic people, providing personalized and adaptable experiences that meet their specific needs. However, it is crucial to consider the unique challenges faced by autistic people and ensure that Extended Reality applications are designed according to accessibility standards. The conclusion is that using technology to include people with disabilities, especially autistic people, is important, since existing architectural strategies cannot be applied to all individuals due to their particularities. Therefore, this strategy will make it easier to solve problems even before they are implemented.

Keywords: Architecture and urban planning. Autism spectrum disorder. Building Information Modeling. Augmented reality. Virtual reality.

INTRODUÇÃO

A pesquisa é um recorte de uma pesquisa com foco no *Building Information Modeling* na área de Arquitetura e Urbanismo e tem como objetivo analisar como a migração para o espaço virtual e o emprego das novas tecnologias de imersão e integração no setor da arquitetura podem colaborar para a elaboração de projetos acessíveis a adultos autistas.

De acordo com o *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (DSM), o autismo é uma condição do neurodesenvolvimento que apresenta características como “prejuízo persistente na comunicação social recíproca e na interação social e padrões restritos e repetitivos de comportamento, interesses ou atividades” [22], manifestando-se por volta dos 2 aos 6 anos de idade [13] [14] [15] [6] [17] [20].

Além dessas características, aproximadamente 90% dos autistas apresentam Transtornos do Processamento Sensorial, ou seja, alguma alteração no processamento sensorial dos estímulos dos ambientes, como iluminação, texturas, cores, cheiros, barulhos e/ou ruídos, entre outros, percebidos através dos sentidos humanos: visão, audição, olfato, paladar, tato, propriocepção e vestibular [6] [8] [9].

Assim, entende-se que o autista pode apresentar diversas comorbidades, principalmente em relação aos estímulos sensoriais do ambiente, que afetam seu desempenho, percepções e experiências, podendo ocasionar desajustes sensoriais ou crises. Entretanto, não existem critérios 100% adaptados a todos os autistas, uma vez que o autismo é caracterizado como um espectro, o que significa que cada autista é único. Embora compartilhem o mesmo diagnóstico, cada um possui suas particularidades [21].

A partir dos estudos que abordam as interrelações entre o autismo e o ambiente construído, notou-se a importância da adequação dos espaços para adultos autistas, principalmente, os de atendimentos que visam o desenvolvimento cognitivo e físico deles, melhorando, consequentemente, o desempenho ocupacional em suas atividades diárias.

Ainda, constatou-se uma carência de estudos que investiguem o ambiente construído para adultos autistas, os quais limitam-se às crianças. No entanto, devido às limitações apresentadas pelos autistas em função do Transtorno e suas variações nos níveis de suporte, observou-se a necessidade de estratégias projetuais que facilitassem tanto a compreensão e a percepção do espaço construído por parte dos adultos autistas, quanto auxiliassem os arquitetos e designers no processo de elaboração do projeto.

Diante de buscas sobre a utilização de tecnologias projetuais para a compreensão do espaço, destacou-se o uso de realidades estendidas. Contudo, como essa aplicação ainda é pouco explorada no contexto do autismo, surgiu o seguinte questionamento: Como as realidades estendidas podem ser utilizadas a fim de colaborar na acessibilidade de projetos arquitetônicos para autistas?

MÉTODO

Trata-se de uma Revisão Narrativa da Literatura de caráter qualitativo, desenvolvida em 2024, por meio de buscas no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e no Google Acadêmico.

As buscas foram feitas a partir das palavras-chave “acessibilidade”, “arquitetura”, “tecnologias imersivas”, “tecnologias interativas”, “autismo”, e “transtorno do espectro autista”, que foram combinadas entre si utilizando o Operador Booleano AND, formando seis (6) combinações.

A seleção dos materiais contou com critérios de inclusão e exclusão, como ser (a) artigo indexado publicado em periódicos científicos, capítulo de livro, livro, trabalho de conclusão de curso de graduação ou especialização, dissertações, teses e anais de congresso; (b) redigido em português; (c) publicado entre os anos de 2019 e de 2024, buscando assim uma bibliografia mais atualizada; e (d) com temática pertinente ao objetivo da revisão e que respondesse à questão norteadora.

Os estudos foram analisados e comparados com os critérios de inclusão e exclusão, sendo selecionados inicialmente por meio de uma leitura preliminar dos títulos e resumos. Após essa seleção inicial, os textos foram recuperados e lidos na íntegra, permitindo uma nova seleção, agora mais minuciosa.

A análise dos dados possibilitou a classificação dos estudos em duas categorias correspondentes aos tipos de tecnologias imersivas e interativas na arquitetura. Em cada uma delas, foram discutidas estratégias de aplicação para a acessibilidade de autistas apresentadas pelos artigos selecionados. Desse modo, foram construídas as seguintes categorias:

1. Realidade aumentada
2. Realidade virtual

RESULTADOS E DISCUSSÕES

REALIDADE AUMENTADA

O avanço tecnológico contribuiu para as mudanças nas formas de visualizar o espaço, levando, segundo Ferreira [7], "ao desenvolvimento não só de utensílios e máquinas que facilitam o nosso dia a dia, mas principalmente de sistemas que nos permitem aumentar a realidade em que vivemos".

É nessa interseção entre o real e o virtual que a Realidade Aumentada (RA) atua. Ela é a união do "mundo real" com o "mundo virtual", possibilitando ao usuário observar o seu entorno de forma que possa interagir, virtualmente, com ele [10] [18].

Dessa forma, a RA na arquitetura surge como uma evolução natural da necessidade de representação espacial e visualização dos projetos, sendo definida como uma tecnologia que permite a sobreposição de elementos digitais sobre o mundo físico, a qual cria uma experiência imersiva e interativa para o usuário [11].

A RA tem sido amplamente explorada em diversas aplicações e áreas, como visualização de projetos, simulação de ambientes e colaboração em equipe. A visualização de projetos permite aos arquitetos visualizarem modelos tridimensionais (3D) de seus projetos arquitetônicos sobrepostos ao ambiente físico, permitindo uma compreensão mais detalhada das proporções, formas e volumes do projeto antes mesmo de sua construção física [3] [11] [19].

A simulação de ambientes possibilita a visualização em tempo real, permitindo aos usuários experimentarem diferentes cenários e configurações, além de analisar aspectos como iluminação, ventilação e circulação dentro do espaço projetado. Por exemplo, é possível simular a iluminação natural em um espaço específico em diferentes momentos do dia ou do ano, facilitando a tomada de decisões de projeto relacionadas ao design e à sustentabilidade [11] [19].

Embora a RA ofereça benefícios significativos para a prática arquitetônica, existem desafios técnicos e considerações importantes a serem levadas em consideração como a precisão dos modelos virtuais, compatibilidade de dispositivos, custos de implementação e a acessibilidade para pessoas com deficiência (PCDs) [11] [19].

A implementação da RA para acessibilidade pode proporcionar a sobreposição de informações sobre rotas acessíveis e locais de interesse, facilitando a navegação e a compreensão do ambiente para PCDs [11] [19].

Apesar dos desafios, é importante considerar a aplicação da RA, principalmente ao entender que a acessibilidade é um princípio fundamental no desenvolvimento de tecnologias, visando garantir que todas as pessoas possam utilizar e se beneficiar das soluções tecnológicas disponíveis [11] [19].

Os autistas frequentemente enfrentam desafios na interação com o ambiente físico e social, o que pode afetar a apropriação dos ambientes desconhecidos [14]. A RA, ao proporcionar experiências personalizadas e adaptáveis, pode oferecer diversas contribuições para a acessibilidade dos autistas como visualização guiada, comunicação aumentada e desenvolvimento de habilidades sociais [11] [19].

REALIDADE VIRTUAL

A Realidade Virtual (RV) corresponde a uma técnica usada para representar ambientes construídos de forma digital tridimensional e acessados por meio de dispositivos imersivos que permitem com que os usuários interajam e explorem o ambiente virtual [11] [12].

Essa tecnologia permite que as pessoas, independentemente de sua localização física, experienciem qualquer lugar do mundo. De acordo com Melo *et al.* [12], a RV proporciona uma experiência sensorial completa, permitindo que arquitetos e clientes explorarem projetos antes mesmo de sua construção física [11] [12].

Para que a RV aconteça e se inove, é preciso obter três critérios: conteúdo 3D, óculos VR e um software de realidade virtual. O conteúdo 3D, ou seja, a maquete modelada do projeto arquitetônico, deve ser renderizado em alta definição e em 360º. Os óculos VR são equipamentos usados para transmitir a experiência do conteúdo 3D ao usuário [12].

Na arquitetura, a RV tem uma variedade de aplicações assim como a RA: visualização de projetos, simulação de ambientes e treinamento e educação. Esta última refere-se aos treinamentos de técnicas de projeto e análise espacial de profissionais e estudantes da área, proporcionando experiências práticas e imersivas em ambientes virtuais simulados [11] [12].

Entretanto, alguns desafios podem surgir ao implementar a RV na arquitetura como o custo, a acessibilidade e a precisão e o realismo. Os custos associados à aquisição de hardware e software de RV podem ser significativos, tornando a tecnologia inacessível para muitos arquitetos e escritórios de arquitetura. Além disso, pode haver barreiras de acessibilidade para PCDs, especialmente se os dispositivos de RV não forem projetados levando em consideração critérios de acessibilidade. Já a precisão e o realismo dos ambientes virtuais criados na RV podem variar dependendo da qualidade dos modelos 3D e das texturas utilizadas. Garantir que os modelos sejam precisos e fiéis ao projeto arquitetônico real pode ser um desafio técnico [11].

Ainda sobre a acessibilidade, a RV pode oferecer benefícios significativos para PCDs, proporcionando experiências imersivas e acessíveis que atendam às suas necessidades específicas. Por exemplo, a navegação assistida pode ajudar autistas com deficiência visual a explorar espaços arquitetônicos de forma independente, fornecendo informações auditivas ou táteis sobre rotas acessíveis e obstáculos. Além disso, a interpretação visual acessível pode ser utilizada para criar ambientes virtuais que representam espaços físicos de forma acessível, oferecendo descrições auditivas ou táteis dos elementos arquitetônicos, como formas, texturas e proporções [11].

CONCLUSÃO

A partir dos estudos, foi possível observar o predomínio de duas categorias de tecnologias de imersão e integração na arquitetura, que desempenham um papel importante para a percepção dos projetos: realidade aumentada e a realidade virtual. Apesar de serem discutidas individualmente, essas tecnologias podem atuar em conjunto. Contudo, vale destacar que, embora ambas sejam tecnologias

de imersão e integração com aplicações semelhantes, suas influências na percepção e nas experiências humanas variam quando aplicadas nos projetos arquitetônicos.

Dessa forma, o objetivo geral da pesquisa foi alcançado, permitindo identificar conceitos principais, estratégias adequadas para sua aplicação e desafios na implementação.

Resumidamente, a RA e a RV oferecem oportunidades significativas para melhorar a acessibilidade e a inclusão dos autistas, proporcionando experiências personalizadas e adaptáveis que atendam às suas necessidades específicas. No entanto, é crucial considerar os desafios únicos enfrentados pelos autistas e garantir que as aplicações de RA e de RV sejam projetadas com acessibilidade, conforme as normas estabelecidas pela ABNT.

Conclui-se, portanto, sobre a importância do uso da tecnologia para a inclusão de PCDs, principalmente autistas, visto que as estratégias arquitetônicas existentes não podem ser aplicadas a todos os indivíduos devido às suas particularidades. Assim, através dessa estratégia, ficará mais fácil solucionar questões antes mesmo da execução do projeto.

Apesar dos benefícios oferecidos pela RA e RV na arquitetura, ainda existem desafios a serem superados, como a existência de lacunas bibliográficas acerca da temática, principalmente quando relacionada ao autismo, por se tratar de discussões mais atuais. Sugere-se, portanto, que estudos posteriores realizem pesquisas empíricas, envolvendo entrevistas, para entender a perspectiva dos próprios autistas sobre como se sentem diante dessas novas tecnologias e como estas podem colaborar para a percepção do ambiente antes de sua construção.

REFERÊNCIAS

[1] ALEXANDRINO, Letícia Keroly Bezerra. A interrelação entre os adultos autistas e os ambientes de instituições de atendimento. 2022. 260 p. Dissertação de mestrado — Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2022. Disponível em: https://www.unifor.br/web/guest/bdtd?course=75&registration=2026567. Acesso em: 30 maio 2023.

[2] ALEXANDRINO, Letícia Keroly Bezerra; MOURA, Rochelle de Arruda. Recomendações sensoriais projetuais para ambientes de atendimento especializado a adultos autistas. In: ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA, 12. Anais dos encontros científicos 2022. Fortaleza: Universidade de Fortaleza, 2022. p. 1-6. Disponível em: https://uol.unifor.br/oul/conteudosite/?uuid=E3F732706DDFB4D9A81E191BF7F95CEFE904C857. Acesso em: 7 jun. 2023.

[3] ARAÚJO, Alan Nóbrega Dantas de. Uso de realidade aumentada como auxílio para concepção de projetos arquitetônicos em bim: experimentos de pesquisa aplicada desenvolvida em disciplinas de modelagem e bim no curso de arquitetura e urbanismo da UFPB entre 2015 e 2017. 2018. 138 p. Dissertação de mestrado — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/13725/1/Arquivototal.pdf. Acesso em: 16 mar. 2024.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [ABNT]. ABNT NBR 9050:2020: acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro: [s. n.], 2020. 161 p.

[5] ASSOCIAÇÃO PSIQUIÁTRICA AMERICANA [APA]. Manual diagnóstico e estatístico de transtornos mentais: DSM-5. 5. ed. Arlington, VA: American Psychiatric Publishing, 2013.

[6] CARDOSO, Nathalia Rodrigues; BLANCO, Marília Bazan. Terapia de integração sensorial e o transtorno do espectro autista: uma revisão sistemática de literatura. Revista Conhecimento Online, v. 1, p. 108, 11 jan. 2019. Disponível em: https://doi.org/10.25112/rco.v1i0.1547. Acesso em: 30 maio 2023.

[7] FERREIRA, Pedro et al. Ambiente virtual imersivo e interativo para modelos BIM: exportação automática e ferramentas de visualização. In: FERREIRA, Pedro et al. 4º congresso português de 'Building Information Modelling' vol. 2 - ptBIM. [S. l.]: UMinho Editora, 2022. p. 485-495. Disponível em: https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.42. Acesso em: 17 mar. 2024.

[8] FURTUOSO, Patrícia; MORI, Nerli Nonato Ribeiro. Integração sensorial e modulação sensorial de escolares com transtorno do espectro do autismo. Conjecturas, v. 22, n. 16, p. 419-431, 23 nov. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.53660/conj-2017-mp41. Acesso em: 30 maio 2023.

[9] LEEKAM, Susan et al. Describing the sensory abnormalities of children and adults with autism. Journal of Autism and Developmental Disorders, v. 37, n. 5, p. 894-910, 3 out. 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10803-006-0218-7. Acesso em: 30 maio 2023.

[10] LEITE, Bruno Silva. Aplicativos de realidade virtual e realidade aumentada para o ensino de química. Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico (EDUCITEC), v. 6, p. e097220, 5 jun. 2020. Disponível em: https://doi.org/10.31417/educitec.v6i.972. Acesso em: 14 jun. 2024.

[11] LUPO, Bianca Manzon; MIZUTANI, Meriellen Nuvolari Pereira. Contextual ou itinerante? Aproximações projetuais ao design de exposições imersivas na contemporaneidade. In: LUPO, Bianca Manzon; MIZUTANI, Meriellen Nuvolari Pereira. Patrimônio 4.0. [S. l.]: LaSUS FAU, 2022. p. 362-372. Disponível em: https://doi.org/10.29327/560428.1-27. Acesso em: 16 mar. 2024.

[12] MELO, Raul Bessa et al. BIM e realidade virtual. In: V ENCONTRO NACIONAL SOBRE O ENSINO DE BIM, 2023, Aracajú-SE, Brasil. V encontro nacional sobre o ensino de bim. [S. l.]: ANTAC, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.46421/enebim.v5i00.3535. Acesso em: 17 mar. 2024.

[13] MIOT, Stéphanie et al. Comorbidity burden in adults with autism spectrum disorders and intellectual disabilities—a report from the EFAAR (frailty assessment in ageing adults with autism spectrum and intellectual disabilities) study. Frontiers in Psychiatry, v. 10, 19 set. 2019. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fpsyt.2019.00617. Acesso em: 8 jun. 2023.

[14] MOSTAFA, Magda. An architecture for autism: built environment performance in accordance to the autism ASPECTSS™ design index. Design Principles and Practices: An International Journal—Annual Review, v. 8, n. 1, p. 55-71, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.18848/1833-1874/cgp/v08/38300. Acesso em: 8 jun. 2023.

[15] MOSTAFA, Magda. An architecture for autism: concepts of design intervention for the autistic user. International Journal of Architectural Research: Archnet-IJAR, v. 2, n.1, pp. 189-211, mar. 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/26503573_An_An_Architecture_for_Autism_Concepts_of_Design_Intervention_for_the_Autistic_User. Acesso em: 30 mai. 2023.

[16] MOSTAFA, Magda. Architecture for autism: autism ASPECTSS™ in school design. International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR, v. 8, n. 1, p. 143, 3 mar. 2014. Disponível em: https://doi.org/10.26687/archnet-ijar.v8i1.314. Acesso em: 30 maio 2023.

[17] MOSTAFA, Magda. Designing for autism: an aspectss™ post-occupancy evaluation of learning environments. International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR, v. 12, n. 3, p. 308, 4 nov. 2018. Disponível em: https://doi.org/10.26687/archnet-ijar.v12i3.1589. Acesso em: 8 jun. 2023.

[18] REZENDE, Sandro M. et al. A Realidade Aumentada em Situações de Aprendizagem na Educação Básica: Uma Revisão de Literatura. In: WORKSHOP SOBRE AS IMPLICAÇÕES DA COMPUTAÇÃO NA SOCIEDADE, Brasil. Workshop sobre as Implicações da Computação na Sociedade. [S. l.]: Sociedade Brasileira de Computação, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.5753/wics.2021.15968. Acesso em: 14 jun. 2024.

[19] ROSA, Valéria Ilsa; SILVA, Régio Pierre da; AYMONE, José Luís Farinatti. Design inclusivo: processo de desenvolvimento de prancha de comunicação alternativa e aumentativa para crianças com transtorno do espectro do autismo utilizando realidade aumentada. Design e Tecnologia, v. 8, n. 15, p. 51, 30 jun. 2018. Disponível em: https://doi.org/10.23972/det2018iss15pp51-67. Acesso em: 16 mar. 2024.

[20] SANABIO, Rosiane Lima Soares; ALEXANDRINO, Letícia Keroly Bezerra. Desvendando o diagnóstico do transtorno do espectro autista ao longo dos anos. In: ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA, 12. Anais dos encontros científicos 2022. Fortaleza: Universidade de Fortaleza, 2022. p. 1-6. Disponível em: https://uol.unifor.br/oul/conteudosite/?uuid=969696D060C3934F745E98AB258948E987A18F1C. Acesso em: 7 jun. 2023.

[21] WOODS, Richard. Autism: a new introduction to psychological theory and current debate. Disability & Society, v. 35, n. 4, p. 688-690, 10 jul. 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1080/09687599.2019.1636564. Acesso em: 16 mar. 2024.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

O uso do HBIM na restauração e preservação dos bens arquitetônicos

The use of HBIM in the restoration and preservation of architectural heritage

Patrícia V. Nahas | PUCRS | SPOBRAS | patriciavicecontinahas@gmail.com

DOI: 10.5281/zenodo.14478664

Resumo

A conservação e restauração dos bens arquitetônicos de interesse cultural sempre foram tema de reflexão na sociedade contemporânea, fruto da preocupação com o passado e a preservação de seus valores, perpetuando-os também para gerações futuras. Preservação e mudança, permanência e inovação são verbetes que sempre estiveram presentes no campo disciplinar do restauro, ao colocarmos o passado diante do futuro, o antigo ao lado do novo. Sendo a transformação digital a mudança através da tecnologia, como o trato com o patrimônio cultural, um tema extremamente abrangente que envolve não só a preservação e conservação em bens materiais, mas também trabalho com valores simbólicos e espirituais além da imaterialidade inerente ao bem, pode absorver as inovações e ferramentas tecnológicas e implementar esses benefícios no campo da preservação? Diante das mudanças cada vez mais inerentes na indústria da Construção Civil, onde a digitalização da construção é cada vez mais emergente, onde a transformação digital é cada vez mais necessária e onde o BIM é cada vez mais obrigatório nos novos processos de trabalho colaborativo a pesquisa pretende discutir como a preservação e a restauração de preexistências arquitetônicas podem adotar as potencialidades do *Building Information Modeling*, em sua vertente *Heritage Building Information Modeling*, ao lidar com os patrimônios a serem conservados ou passíveis de intervenção. O HBIM ou a associação do BIM ao campo disciplinar do restauro tem se mostrado um profícuo meio de experimentação e aplicação da tecnologia à preservação do passado aproveitando o momento em que a Construção Civil tem estado cada vez mais inserida nas transformações digitais da sociedade contemporânea. Este trabalho tem como objetivo mostrar as potencialidades da Modelagem da Informação da Construção não só em suas dimensões conhecidas, mas explorando um campo desafiador que é a preservação e intervenção em preexistências do passado através da adoção de ferramentas e tecnologias da metodologia BIM. Com o apoio de ferramentas e processos ligados ao HBIM, surge o conceito do Restauro Virtual ou digital, justapondo tecnologias e intervenção no patrimônio edificado, mas acima de tudo colocando em discussão se com o suporte da tecnologia e da virtualização da construção é possível intervir no patrimônio em consonância com os princípios basilares do restauro. O uso do HBIM na restauração e preservação dos bens arquitetônicos associa, de forma contundente, passado (a matéria de intervenção), presente (a metodologia de trabalho a ser realizada) e futuro (pesquisa, desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias no âmbito do HBIM). É importante ressaltar, que apesar das vantagens desse diálogo (patrimônio + modelagem da informação da construção = HBIM) é imperativo que o debate a respeito do tema seja aprofundado, que as dificuldades encontradas em relação as especificidades do patrimônio arquitetônico e histórico sejam enfrentadas e que o treinamento e a normatização no âmbito dessa nova dimensão do BIM sejam amadurecidos para proporcionar não só a intervenção menos invasiva no bem patrimonial como também ampliar a fruição do monumento pelos usuários.

Palavras-chave: Heritage *Building Information Modeling* (HBIM). *Building Information Modeling* (BIM). Restauro Virtual. Restauro Digital. Patrimônio Arquitetônico.

Abstract

The conservation and restoration of architectural assets of cultural interest have always been a theme for reflection in contemporary society, resulting from the concern for the past and the preservation of its values, also perpetuating them for future generations. Preservation and change, permanence and innovation are entries that have always been present in the restoration disciplinary field, as we place the past before the future, the ancient alongside the new. If, on the one hand, digital transformation means change through technology, such as dealing with cultural heritage, an extremely comprehensive theme encompassing not only the preservation and conservation of material assets, but also work with symbolic and spiritual values as well as the immateriality inherent to the asset, on the other hand, can it absorb technological innovations and tools and implement these benefits to the preservation field? In light of the increasingly inherent changes in the Civil Construction industry, where construction digitalization is increasingly emerging, digital transformation is increasingly necessary and BIM is increasingly mandatory in new collaborative work processes, research aims to discuss how the preservation and restoration of architectural pre-existences can adopt the potential of Building Information Modeling, in its Heritage Building Information Modeling strand, in dealing with heritage to be conserved or subject to intervention. HBIM or BIM association with the restoration disciplinary field has proven to be an enriching means of experimenting and applying technology to the preservation of the past by seizing the moment in which Civil Construction has been increasingly placed in the digital transformations of contemporary society. The present work aims to show the potential of Construction Information Modeling not only in its known dimensions, but also exploring a challenging field such as the preservation and intervention in pre-existences of the past through by adopting BIM methodology tools and technologies. With the support of tools and processes linked to HBIM, the Virtual or Digital Restoration concept emerges, overlapping technologies and intervention in built heritage and above all putting into discussion whether it is possible to intervene in heritage in line with the basic principles of restoration with the support of technology and construction virtualization. The use of HBIM in the restoration and preservation of architectural assets forcefully associates the past (the intervention subject), the present (the work methodology to be developed) and the future (research, development and application of new technologies within the scope of HBIM). It is important to emphasize that despite the advantages of this dialogue (heritage + construction information modeling = HBIM) it is crucial to deepen the debate on this theme, to face the difficulties encountered in relation to the specificities of architectural and historical heritage and to mature training and standardization within the scope of this new dimension of BIM so as to provide not only a less invasive intervention on the heritage asset but also to enrich the monument enjoyment for users.

Keywords: Heritage Building Information Modeling (HBIM). Building Information Modeling (BIM). Virtual Restoration. Digital Restoration. Architectural Heritage.

INTRODUÇÃO

A preservação, conservação e restauração dos bens arquitetônicos de interesse cultural sempre foram tema de reflexão na sociedade contemporânea, fruto da preocupação com o passado e a preservação de valores artísticos, históricos e simbólicos para o futuro, perpetuando também valores de cultura para novas gerações. Preservação e mudança, permanência e inovação são verbetes que sempre estiveram ligados a esses temas, ao colocarmos o passado diante do futuro, o antigo ao lado do novo.

Diante das mudanças cada vez mais inerentes na indústria da Construção Civil, onde a digitalização da construção é cada vez mais emergente, onde a transformação digital é cada vez mais necessária e onde o *Building Information Modeling* (BIM) é cada vez mais obrigatório nos novos processos de trabalho colaborativos, como se dá o diálogo entre as ferramentas de inovação na inovação do patrimônio arquitetônico?

O objetivo deste trabalho é discutir como a preservação e a restauração de preexistências arquitetônicas podem adotar as potencialidades do BIM não só nas dimensões já conhecidas (modelagem, extração de quantitativos, planejamento e gestão da obra, utilização de gêmeos digitais)

mas também nas especificidades em lidar com os textos antigos, com os patrimônios a serem conservados ou passíveis de intervenção [1].

CONTEXTO

A restauração de monumentos [2] é uma disciplina consolidada, apesar de encontrarmos variadas interpretações e respostas projetuais. As mudanças e inovações da sociedade têm estimulado experimentações diversas no campo disciplinar do restauro, produzindo reflexos na forma como vemos e como lidamos com o patrimônio cultural ao longo do tempo.

Diversos autores têm afirmado e refletido sobre o status quo da sociedade atual e afirmam que passamos pela 4º. Revolução Industrial, impactando nos processos de produção com o apoio das tecnologias digitais, através de ambientes dinâmicos e suas variadas ferramentas.

A aproximação da inovação tecnológica aos textos do passado – o bem patrimonial -, impacta diretamente na relação do usuário com patrimônio seja na forma de fruição deste bem seja na percepção de seus valores, evidenciados pelas ferramentas digitais. Proporciona, por exemplo, restauros de mínima intervenção, através de ferramentas de imersão, que oferecem uma viagem no tempo, perpassando experiências entre o mundo físico e o mundo virtual. Seria um novo momento na ampliação da noção do patrimônio cultural, a forma de repensar este patrimônio na era digital?

Edoardo Ferrarini aprofunda esses conceitos ao propor que, apesar ambiguidades e diversos usos e significados, a noção de restauro tem se alargado progressivamente e, termos como restauro virtual ou restauro eletrônico, relativamente novos, ainda continuam a indicar mais a ferramenta e técnica adotada e menos a metodologia [3].

Como o trato com o patrimônio cultural pode absorver as inovações e ferramentas tecnológicas e implementar esses benefícios no campo da preservação em seus diversos valores (artístico, histórico, simbólico, espiritual)? Como as tecnologias, através da implementação do uso do BIM se comportam diante de edifícios do passado?

Assim como o trato com os monumentos buscam orientações dentro das vertentes de restauro ou das cartas patrimoniais, a aplicação no BIM na conservação e restauração de edifícios históricos também precisa de regras e consenso.

O ESTADO DA ARTE DO HBIM

A disrupção trazida pela metodologia BIM na indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) proporcionou significativa mudança de cultura no processo de trabalho, coordenação, colaboração, troca de informações, planejamento, armazenamento de dados, onde o gerenciamento das informações é o ponto central para concepção do produto.

A modelagem da informação da construção tem redefinido a maneira como concebemos e gerenciamos espaços construídos. Consequentemente, podemos dizer que esse novo modelo de trabalho também tem estimulado a forma de abordagem do patrimônio construído, tanto na sua documentação, análise, conservação e intervenção.

Diversos autores têm considerado o HBIM – Historic *Building Information Modeling* ou Heritage *Building Information Modeling* uma extensão do conceito de *Building Information Modeling* para edificações de interesse histórico e/ou artístico, considerando todas as especificidades inerentes a este tipo de construção com novos métodos para gerenciar, intervir e usufruir do patrimônio.

Os edifícios do passado são o reflexo das modificações da sociedade ao longo do tempo, registram camadas de história e materializam significados e símbolos frutos de uma época e de uma cultura.

Dessa forma, a principal questão que se coloca é se, a simbiose entre o físico e o digital tão presente na vida moderna poder ser repassada ao patrimônio cultural e a inovação poder ser um aliado do passado.

Também há uma discussão sobre a necessidade de criação de nomenclatura específica, o HBIM para documentação, operação e conservação de edifícios históricos [4]. Para Tolentino,

> *o Historic Building Information Modeling (HBIM) nada mais é que a extensão do conceito BIM para edificações históricas e visa a documentação, a análise e a conservação de edifícios históricos [5]*

porém salienta que o HBIM não contempla todo o ciclo de vida das edificações com caráter patrimonial. Discordamos dessa afirmativa, pois ao considerar o restauro como ato projetual, o HBIM pode perpassar por todas as fases do ciclo de vida da edificação, mesmo que essa edificação seja preexistente.

O termo HBIM foi usado pela primeira vez por Maurice Murphy, Eugene McGoverne, Sara Pavía pela primeira vez em 2013, como

> *"is a novel solution whereby interactive parametric objects representing architectural elements are constructed from historic data, these elements (including detail behind the scan surface) are accurately mapped onto a point cloud or image based survey" [6].*

Por trás do modelo, os autores sugerem que é possível introduzir dados históricos, métodos de construção e composição dos materiais. A partir de desafios e dificuldades encontrados durante suas pesquisas, os autores identificaram potencial para automatizar a documentação com a construção de biblioteca paramétrica de elementos arquitetônicos; desenvolvimento de regras paramétricas de elementos detalhados em livros; uso de nuvem de pontos e fotogramétrica para construção de modelos digitais.

A complexidade no processo de integração do BIM com o patrimônio, associando trocas contínuas de informações e produção de dados oferece inputs para tomada de decisão em relação à preservação, conservação e restauração do bem edificado – podendo ser avaliada a análise espacial do edifício, a implantação urbana, caraterização da área envoltória e principalmente documentar características essenciais e especiais da edificação e realizar interface com as normas restritivas para intervenção.

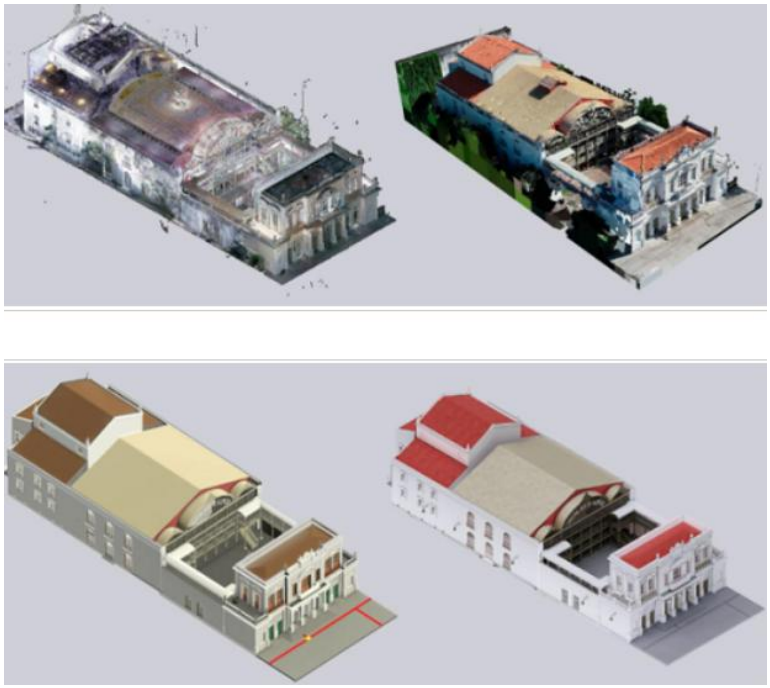
O HBIM traz o monumento para o ambiente digital proporcionando novas possibilidades de interpretação, aproximação e suporte no projeto de restauro, conservação e preservação deste patrimônio, além de estimular a educação patrimonial em diferentes formatos e a fruição das espacialidades do passado em novo formato no presente.

Mas ainda existem muitos desafios a serem superados: como lidar com elementos com características tão específicas, elementos que não são padronizáveis devido as suas especificidades e características históricas, dificuldades na criação de bibliotecas e construção de arquivos digitais, modelagens com geometrias muito complexas; protocolo para padronização e sistemas de classificação para os diversos elementos históricos.

Diversas universidades têm desenvolvidos projetos nessa área, como a Universidade Federal do Ceará que se tornou pioneiro na digitalização do patrimônio em alta precisão, ao realizar o levantamento tridimensional de toda a estrutura do Theatro José de Alencar [7] [Figura 1]; a Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia possui um laboratório para estudos multidisciplinares de tecnologias e espaço construído com projetos em realidade aumentada e modelagem de patrimônios edificados;

a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP) vem desenvolvendo uma série de trabalhos com HBIM através do projeto Keeping it Modern (Getty Foundation), para plano de conservação e gestão de edificações do patrimônio moderno.

Figura 1: Trabalho de modelagem do Theatro José de Alencar, Fortaleza CE.



Fonte: SOUSA, 2023 [8]

FERRAMENTAS E TECNOLOGIAS DO HBIM

Uma das grandes aplicações do BIM são suas potencialidades técnicas na área de levantamento e documentação de um patrimônio existente através da utilização das técnicas de Fotogrametria e Escaneamento a Laser que produzem Nuvem de Pontos precisas para construção do modelo 3D.

As edificações carregam valores que testemunham sua passagem no tempo, perpetuando para o presente a memória do passado, agregam novas significações ao longo da sua história e adquirem marcas da passagem do tempo, perdas, esquecimentos, demolições, depredações, mas, ao mesmo tempo se colocam em diálogo com as novidades e novos valores surgidos com as constantes mudanças da sociedade. posterior inclusão de dados não geométricos. A documentação do patrimônio cultural tem papel preponderante na manutenção dessa memória.

DIGITALIZAÇÃO

A captura de dados precisos e fidedignos dos edifícios de interesse cultural, seus detalhes, componentes estruturais, marcas do tempo são importantes fontes para a modelagem virtual da construção, formando um inventário digital do patrimônio com informações consideráveis para a documentação deste bem.

O levantamento de edifícios existentes é considerado por muitos autores um processo de engenharia reversa integrado à tecnologia de digitalização avançada composta por digitalização 3D, tratamento de imagem e criação do modelo [9].

Com as tecnologias de varredura digital, a edificação pode ser registrada e documentada com grande quantidade de informações, de forma mais rápida e eficiente, gerando modelos em malhar triangular ou em nuvem de pontos.

A fotogrametria, segundo Nobile, é a técnica mais completa, precisa e rápida para criar uma documentação da edificação existente para futura intervenção e construção de banco de dados [10] onde é possível guardar características culturais, construtivas, artísticas além de testemunhos do estado atual da edificação histórica no tempo presente.

Dentre as técnicas utilizadas em geral, destaca-se a *Dense Stereo Matching* (DSM) ou *Structure from Motion*, através de softwares como Autodesk Recap 360, Autodoesk REcap Photo, Agisoft Photoscan, Agisoft /metashape 1.7.3, 3DF Zephyr Free e Photomodeler Standard.

Figura 2: Fotogrametria na porta da Igreja e Convento do Carmo Sto. Antônio do Paraguaçu - Cachoeira na BA.



Fonte: BOMFIM DE ARAÚJO; GROETELAARS; LEÃO DE AMORIM, 2018, p.4 [11]

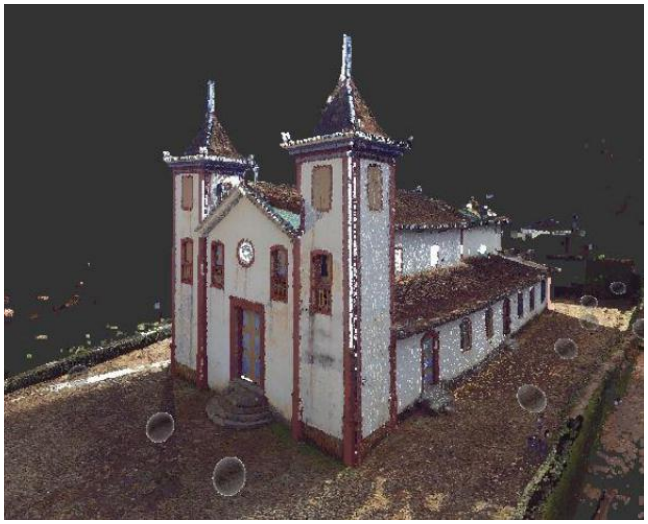
Um exemplo bem-sucedido de restituição através as DSM é o adotado na Igreja e Convento do Carmo Santo Antônio do Paraguaçu em Cachoeira na Bahia [Figura 2], onde foi utilizada Câmera Sony de modelo DSC-HX7V e foram tomadas diversas fotos da porta do claustro que puderam gerar o processamento de malha triangular no Autodesk Recap 360 e posterior criação de nuvem de pontos [12]

Outra forma de digitalização é o método de escaneamento a laser 3d onde se obtém, como resultado do processo nuvem de pontos tridimensionais que registram as características do objeto de estudo, através da *Light Detection and Ranging* (LIDAR).

As vantagens do escaneamento a laser, ou laser scanning, é a rapidez da coleta, a possibilidade de visualização e a precisão que oferecem uma representação digital do patrimônio fidedigna e com elevado rigor da situação atual da edificação; podendo ainda, servir de base para monitoramento, animação, ilustração e interpretação além de ser subsídios para a montagem do modelo 3D.

Mônica Tolentino desenvolve vasta explanação e demonstração sobre o escaneamento a laser da Igreja de Bom Jesus de Matozinhos [Figura 3], aonde foram escaneados o interior e exterior da edificação com scanner Faro Focus 3D e uso de Recap Pro para conversão dos dados [13].

Figura 3 – Nuvem de pontos – exterior da Igreja de Bom Jesus de Matozinhos



Fonte: TOLENTINO, 2018, p. 143 [14]

INTERNET DAS COISAS (INTERNET OF THINGS – IOT)

A Internet das Coisas ou Internet of Things (IoT) é fundamental para o uso do HBIM em monitoramento e controle eficiência energética, consolidação estrutura, gestão de riscos em situação de terremotos e prevenção e controle de incêndios, podendo ainda criar inventários e registros de acompanhamento. É a tecnologia base para a criação de gêmeos digitais e a gestão dos ativos do patrimônio a ser conservado. Por outro lado, a desvantagem no uso de IoT é a privacidade e a segurança dos dados, tornando os serviços protegidos e inacessíveis a ataques cibernéticos criminosos.

As tecnologias envolvidas na aplicação de IoT são: RFID, Near Field Communication (NFC), endereçamento IP, sensores e a comunicação via Bluetooth/ IEEE/ RFID, Zigbee, 3G/4G, Sigfox, entre outras.

O USO DO HBIM COMO SUPORTE PARA INTERVENÇÃO NO PATRIMÔNIO CULTURAL

MODELAGEM 3D

O modelo virtual da construção, da edificação de caráter patrimonial, pode partir de três situações distintas, conforme a orientação do projeto de restauro: As-designed – como o projeto foi concebido em sua fase inicial; As-built – como o projeto/obra se encontra em sua fase inaugural; As-is – como a edificação se encontra na situação existente no momento da intervenção. As três situações servem de instrumento para o restauro seja ele material ou virtual.

USO DE REALIDADE AUMENTADA (RA)

É a visualização geométrica tridimensional e informação numérica onde há a imersão para mundos virtuais, mistura o virtual ao mundo real através da criação de imagens virtuais que se misturam ao mundo real. Neste tipo de aplicação, o usuário tem a clara distinção do que é virtual e do que é real, pois está em constante contato com o mundo real. A vantagem deste tipo de tecnologia é poder inserir, através de sobreposição de objetos virtuais gerados por computador no mundo real [Figura 4].

Segundo Consoni *et al.* [15] os sistemas de realidade aumentada exigem registros da edificação histórica e, através de aplicativos como por exemplo DemonumentaRA, Metauniverse, Patrimônios da Independência, Museu sem paredes, a RA pode reconstruir em tempo real edifícios em ruínas e visualização de alterações na preexistência.

Figura 4: Aplicativo Museu sem Paredes



Fonte: https://www.pousadadasmissoes.com.br/informativos/36-app-museu-sem-paredes-faz-reconstrucao-3d-das-ruinas-e-torna-a-viagem-as-missoes-ainda-melhor

USO DE REALIDADE VIRTUAL (RV)

A Realidade Virtual propõe a imersão em ambiente virtual que simula o ambiente real, através de fluxo de informações e experiências que suprimem os limites geográficos e promovem a troca de dados em tempo real. Para que a realidade virtual aconteça, é necessária que ocorra a digitalização tridimensional.

A realidade virtual é altamente interativa, lúdica e proporciona alto grau de imersão, podendo ser utilizada para valorização do patrimônio através da educação, educação patrimonial e turismo. Através de dispositivos externos (óculos, fones, capacetes) permite que o usuário interaja com o monumento, visite seus espaços internos, usufrua do patrimônio de maneira remota e interativa.

Um exemplo bem-sucedido é a *Circo Maximo Experience. La nuova prospettiva del passato* [Figura 5], onde, com óculos de realidade virtual e fones de ouvido, o visitante passeia pelas ruínas do Circo Máximo em Roma, Itália e pode compreender como aquele monumento era construído e utilizado no passado [Figura 6].

Também é possível passar por todos as camadas de tempo pela qual passou até chegar em estado de ruína. A experiência termina com o espectador sentado em um dos bancos do local, imerso em uma corrida de bigas ao lado de romanos da época.

Figura 5: Reconstrução do Circo Máximo e uso de Realidade Virtual



Fonte: https://www.circomaximoexperience.it/

Figura 6: Visitantes nas ruínas do Circo Máximo durante a experiencia imersiva



Fonte: Foto da autora, outubro/2024

MONITORAMENTO E CONTROLE DO PATRIMÔNIO

Com a adoção de medidas para melhorar a eficiência energética das edificações, fruto de uma série de preocupações com o meio ambiente e a qualidade de vida no planeta, as tecnologias para controle e uso eficiente dos recursos são extremamente bem-vindas em novos projetos de edificações e intervenções em edificações existentes através do uso de ferramentas de análise 6D.

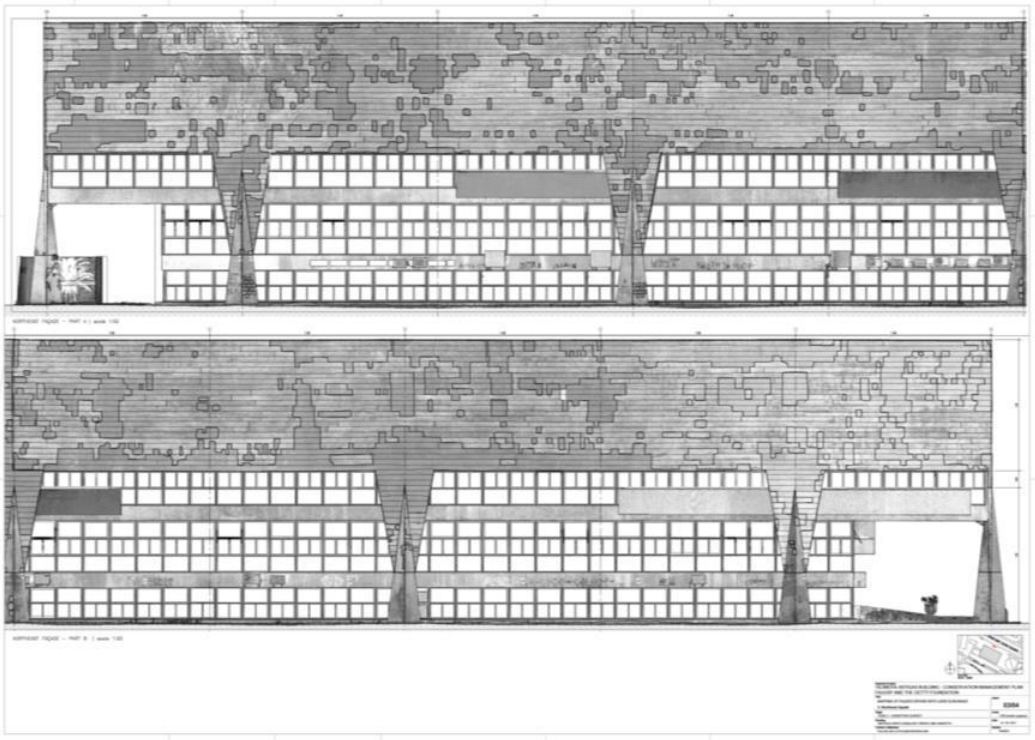
O uso de IoT para monitoramento de riscos de incêndio em edificações históricas e de interesse artístico auxilia no planejamento e gestão de risco para prevenção e combate a sinistros, onde sensores podem ser usados para controlar níveis de temperatura, umidade, fazer a detecção de fumaça e fazer o alerta aos usuários e equipe de brigada de incêndio.

Outra particularidade do trabalho com o patrimônio é a realização do diagnóstico da edificação existente para conhecer a patologias endógenas e exógenas que afetam a matéria do bem edificado.

O trabalho de escaneamento do Edifício Vilanova Artigas, sede da FAU USP [Figura 7], fruto da parceria entre a própria FAUUSP, Unife - DIAPReM, com financiamento da Fundação Getty, através do programa Keeping Modern resultou em uma nuvem de pontos com precisão necessária para análise de características “formais, geométricas, materiais e estruturais” [16], patologias e dados de

refletância. A nuvem de pontos foi utilizada também para avaliação das prováveis deformações estruturais, no entanto o grande objetivo da nuvem foi retratar as manifestações de patologias existentes no momento do levantamento tendo como resultado a ortofoto a partir da nuvem de pontos.

Figura 7: Fachadas da FAUUSP



Fonte: KUHL et. al., 2021, p.27 [17]

Um dos usos propícios para o BIM integrado aos edifícios de valor histórico e ou artístico, atingindo objetivos específicos onde o "objetivo da gestão de ativos é permitir que uma organização tenha os ativos adequados à suas necessidades comerciais e fornecer serviços de suporte" [18]. Complementamos que o uso do BIM em sua denominação HBIM fornece importantes informações e requisitos para a gestão e conservação do patrimônio edificado, proporcionando uma gestão estratégica do monumento.

O RESTAURO VIRTUAL

O restauro virtual ou digital é um conceito recente que nasce da justaposição do uso de tecnologias digitais associadas ao restauro do patrimônio edificado. Muitos autores ainda estão discutindo o tema, relativamente novo e sem consenso comum assim como no próprio restauro onde existe diversas correntes e tendências de restauro [19].

Tirello [20] questiona a virtualização do patrimônio comparando-o a "games" e colocando em foco que o estudo do patrimônio deve ser apoiado em documentos escritos, levantamentos métricos precisos, prospecções priorizando um rigor material e metodológico ao invés das possibilidades criativas proporcionadas pela tecnologia.

Porém, o restauro virtual propõe uma aproximação do monumento, conservando os princípios basilares do restauro (mínima intervenção, reversibilidade, compatibilidade de materiais,

distinguibilidade) uma vez que permite a realização de um a modelo tridimensional onde são esmiuçadas as possibilidades de intervenção, estudo de volumetria, fruição, comparação das pátinas com efeitos de cor e luminosidade, inserção de elementos novos, adequação de instalações e como o onde; avaliação crítica de reintegração e reconstrução, diálogo entre estruturas novos e contextos antigos.

O modelo permite uma infinidade de simulações, associadas ainda a experiência imersiva para a tomada de decisão pautada nas considerações do campo disciplinar do restauro.

Como as premissas disponíveis na Carta de Restauro de Veneza (documento basilar para as ações de intervenção) são passíveis de interpretação, não existe apenas um restauro correto, mas uma gama de escolhas que tem como intuito alcançar a intervenção mínima para a conservação do monumento.

Diz a Carta de Veneza, 1964 que a restauração que o restauro é “uma operação que deve ter caráter excepcional [21], logo a premissa basilar da carta é conservar e revelar valores do monumento., interpretando o texto original matérico, a destinação útil e a correta dosagem entre o ato criativo e a conservação da preexistência.

O restauro arquitetônico tem se tornado uma disciplina consolidada, mas ainda objeto de interpretações diferenciadas, pautado em resposta projetual diversa, fruto do rigor metodológico e juízo crítico aplicado na intervenção, que faz parte do processo que associa preservação da preexistência e a ação criativa do arquiteto.

As ações sobre o patrimônio edificado estarão materializadas na arquitetura de origem, que expressarão como resultado da intervenção e, fruto da atividade projetual onde, também de acordo com a Carta de Veneza, devem “ostentar a marca do nosso tempo”; o “emprego de técnicas modernas de conservação e construção”; “equilíbrio de sua composição” [22]. Nesse sentido, seria a adoção do BIM, a marca do nosso tempo, ao integrar inovação e tecnologia no ambiente da preservação?

Como vimos, o patrimônio edificado concentra grande quantidade de informações e peculiaridades que geram dados importantes para subsidiar a intervenção. Alguns autores se referem a ação de intervir no patrimônio através da digitalização e virtualização, como restauro virtual ou digital ou ainda eletrônico.

Para Limoncelli, quando falamos de restauro virtual, temos que pensar que o “virtual” não é algo falso ou ilusório, mas sim uma possibilidade alternativa a realidade; uma metodologia integrada ao computador, que pode ser bi ou tridimensional, que pode ainda promover a restituição ou reconstrução integral ideal da obra [23].

A autora deste trabalho conheceu, em 2013, a intervenção de restauro do Palazzo Valentini [24], sede da prefeitura de Roma, Itália na atualidade, mas uma complexa edificação cheia de camadas e significados históricos que representa bem o potencial do restauro virtual, através da experiência imersiva.

A descoberta de uma Domus Romane, em 2005 [Figura 8], no subterrâneo do Palácio resultou em um restauro realizado associa intervenções na matéria como escadas e passarelas para o percurso expositivo, utilizando elementos metálicos e vidro – com mínima intervenção; adequações de instalações necessárias para o projeto multimídia com projeções que reconstroem sobre a ruína física, a espacialidade digital de um tempo passado, oferecendo ao visitante a Reconstrução Virtual perdida [Figura 9].

Figura 8: Palazzo Valentini



Fonte: NAPOLI; BALDASSARI, 2015 [25]

Figura 9: Interior do Palazzo Valentini

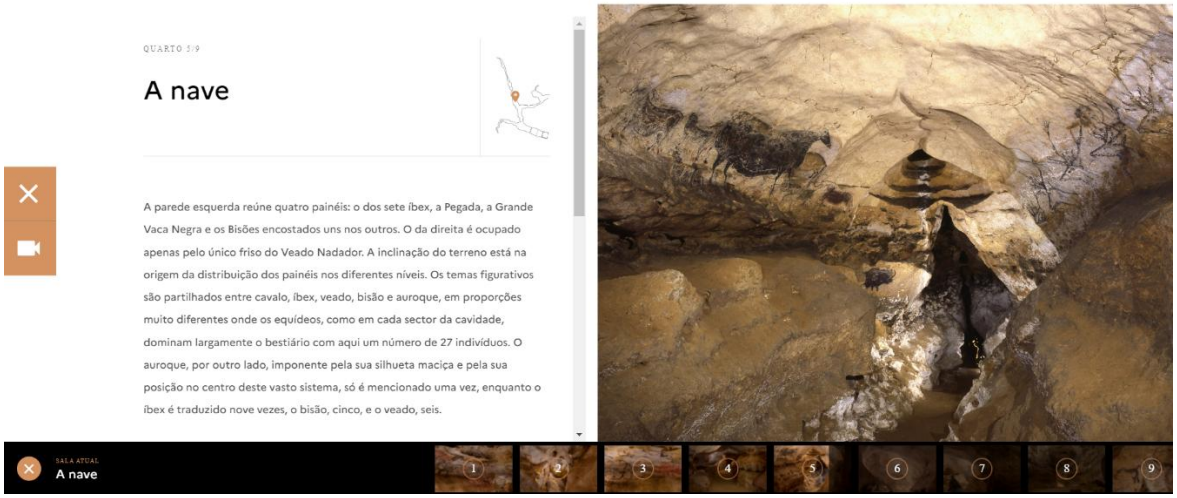


Fonte: https://www.palazzovalentini.it/

O formato de intervenção, com o aporte da tecnologia, permite fazer intervenções não invasivas e reversivas no monumento original, trabalhando sobre o modelo virtual da realidade existente. Por outro lado, as tecnologias permitem a aquisição de dados formais da obra para transmissão ao futuro, em seu estado de conservação quando se encontra, definindo assim a Conservação Virtual.

A reconstrução virtual da Gruta de Lascaux, França permite a visita de qualquer lugar do mundo, sem estar fisicamente dentro do próprio monumento, documentando o sítio arqueológico, preservando-o da movimentação turística e criando um olhar para o passado [Figura 10].

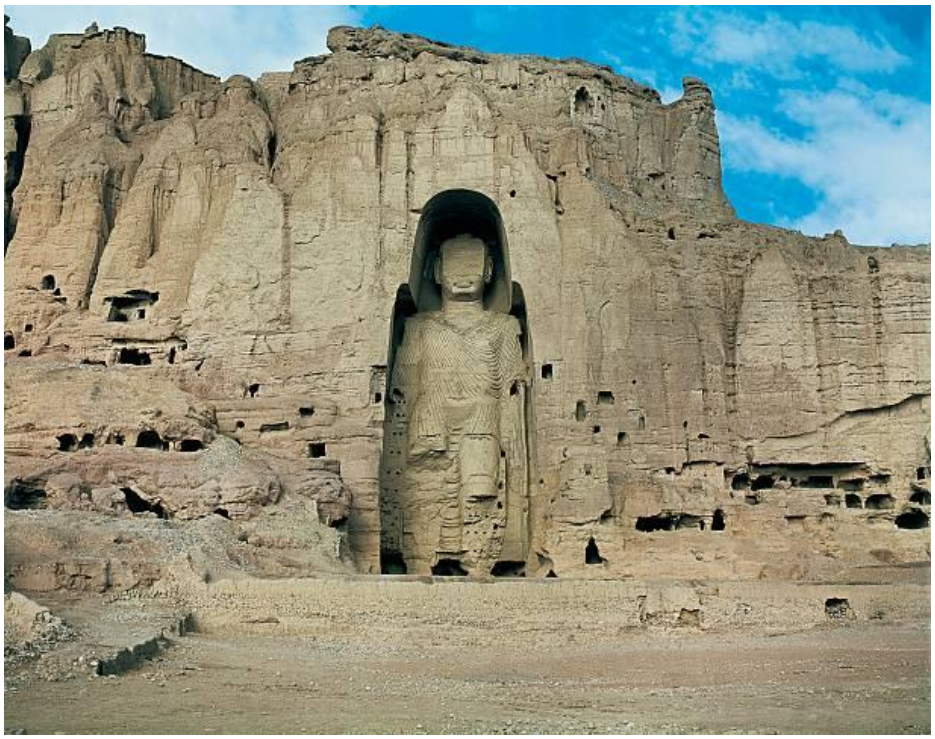
Figura 10: Imagens do passeio virtual no interior da Gruta de Lascaux



Fonte: https://archeologie.culture.gouv.fr/lascaux/en/visit-cave

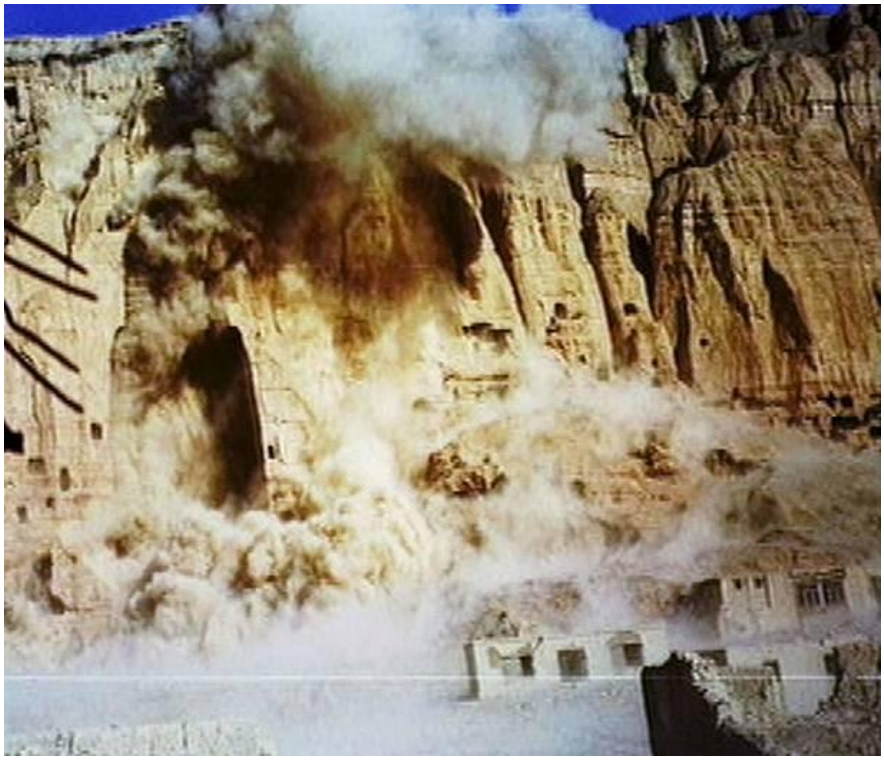
Outra intervenção com uso de recursos multimídias são as projeções realizadas no *Buddha di Bamiyan*, no Afeganistão [Figura 11], onde se localizavam as estátuas do século VI que foram destruídas pelo regime político da Talibã em 2001 [Figura 12]. Através do restauro virtual, com metodologia de restituição do bem artístico e de grande valor tecnológico, foi possível retomar a legibilidade da obra, reintegrando seu valor de testemunho [Figura 13].

Figura 11: Buda antes da destruição



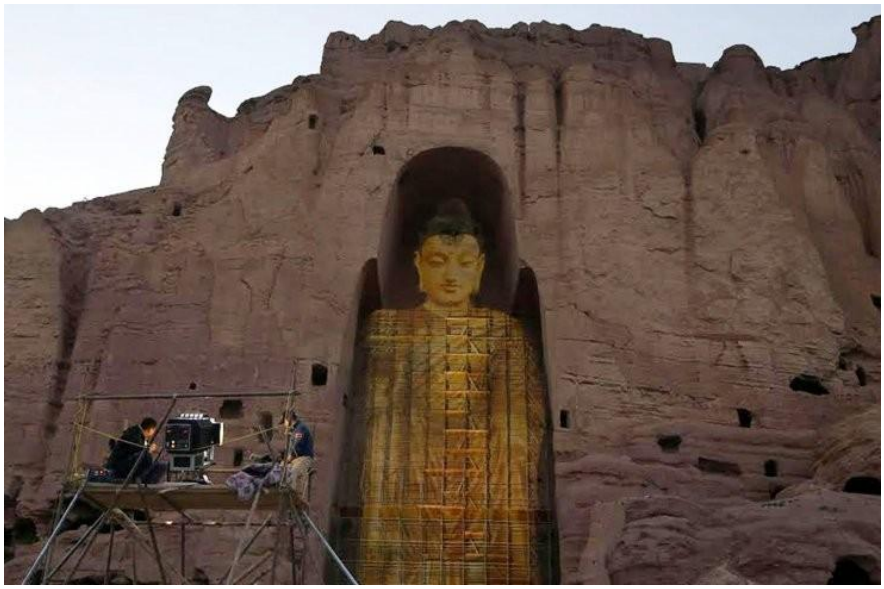
Fonte: https://www.gettyimages.com.br/fotos/bamiyan-buddhas

Figura 12: Buda durante a destruição



Fonte: https://www.gettyimages.com.br/fotos/bamiyan-buddhas

Figura 13: Projeção do Buda



https://revistagalileu.globo.com/Tecnologia/noticia/2015/06/projecao-holografica-reconstroi-estatuas-de-buda-dinamitadas-no-afeganistao.html

Sottile diz que o restauro virtual deve responder aos mesmos princípios do restauro real baseado na autenticidade das instâncias históricas e artísticas sendo reconhecidas, reversíveis, compatíveis, e mínimo intervenção [26]. Mônica Tolentino ressalta que “as teorias de restauro até aqui (Teoria de Restauro de Cesare Brandi) expostas são caracterizadas pela sua estreita conexão com o conceito de ´verdade” [27].

O que se coloca em discussão, com base nos princípios basilares do restauro, é que, com o suporte da tecnologia e da virtualização da construção, é possível intervir no patrimônio com máxima liberdade de ação. No entanto é fundamental colocar em debate as diversas possibilidades de modificação da obra, duplicação, repristino ou cancelamento sem danos e acima de tudo, sem juízo crítico diante dos valores do passado.

CONCLUSÃO

O HBIM ou a associação do BIM ao campo disciplinar do restauro tem se mostrado um profícuo meio de experimentação e aplicação da tecnologia à preservação do passado aproveitando o momento em que a Construção Civil tem estado cada vez mais inserida nas transformações digitais da sociedade contemporânea.

Este trabalho teve como objetivo mostrar as potencialidades da Modelagem da Informação da Construção não só em suas dimensões conhecidas, mas explorando um campo desafiador que é a preservação e intervenção em preexistências do passado através da adoção de ferramentas e tecnologias da metodologia BIM.

O uso do HBIM na restauração e preservação dos bens arquitetônicos associa, de forma contundente, passado (a matéria de intervenção), presente (a metodologia de trabalho a ser realizada) e futuro (pesquisa, desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias no âmbito do HBIM).

É importante ressaltar, que apesar das vantagens desse diálogo (patrimônio + modelagem da informação da construção = HBIM) é imperativo que o debate a respeito do tema seja aprofundado, que as dificuldades encontradas em relação as especificidades do patrimônio arquitetônico e histórico sejam enfrentadas e que o treinamento e a normatização no âmbito dessa nova dimensão do BIM sejam amadurecidos para proporcionar não só a intervenção menos invasiva no bem patrimonial como também ampliar a fruição do monumento pelos usuários

REFERÊNCIAS

[2]. NAHAS, Patricia Viceconti. Antigo e novo nas intervenções em pré-existências históricas: a experiência brasileira. 2015. Tese (Doutorado em Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2015.

[3] FERRARINI, Edoardo; STALTARI, Eugenio. Scrittura ed immagini: un' ipotesi di restauro virtuale. IX Incontro di Informatica Umanistica (Strumenti informatici per l'elaborazione di immagini nelle discipline storiche, filologiche e letterarie). Università degli Studi di Verona: Verona, dicembre 2000.

[4] MOTA, Bianca Barbosa da; FIGUEIREDO, Karoline Vieira. H-BIM no controle e avaliação do Patrimônio Histórico: Revisão Bibliográfica. Revista Boletim de Gerenciamento, n.25, p-13-24, 2021. Disponível em: www.nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento, p.14.

[5] TOLENTINO, Mônica, Martins Andrade. A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Patrimônio Arquitetônico. 2018. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal de Salvador. Salvador, 2018, p.82.

[6] MURPHY, Maurice; MCGOVERN, Eugene; PAVÍA, Sara. Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laserand image based surveys of European classical architecture. ISPRS J. Photogram. Remote Sensing, p.1-14. 2013. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006, p.1,

[7]. Agência UFC, 16/10/2023. Disponível em https://agencia.ufc.br/theatro-jose-de-alencar-e-o-primeiro-do-brasil-a-ganhar-modelo-em-3d-de-alta-precisao-projeto-auxilia-na-manutencao-e-nos-restauros-do-patrimonio/

[9] PONTICELLI, Claudiomar; SUSKI, Cássio Aurélio. O Avanço do desenvolvimento de produtos através da Engenharia Reversa. Revista Eletrônica da Unifebe, v.1, n.8, jan/jul 2010, p. 159-171. Disponível em https://periodicos.unifebe.edu.br/index.php/RevistaUnifebe/article/view/51

[10] NOBILE, Giorgia. Gestione del patrimônio storico architettonico: rilievo métrico 3D, modellazione BIM e anilisi dei fenomini di degrado. Tesi di Laurea Magistrale – Politecnico di Torino. Torino: Politecnico di Torino, 2018, p.25-26.

[11] Bomfim de Araujo, Alana; Groetelaars , Natalie Johanna; Leão de Amorim, Arivaldo; Use of Dense Stereo Matching for Existing Building Documentation: Comparative Analysis of Tools. São Paulo: Blucher, 2018, p. 874-879 .

[15] CONSONI, Gilberto B.; MARTINS, Paulo edi R.; JAPUR, Léa Maria D. Realidade aumentada aplicada ao patrimônio histórico-arquitetônico: projeto de aplicativo para visualização dos prédios históricos da UFRGS in: Revista do Instituto histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2020, p. 63-78.

[16] KÜHL, B. M. et. al. Escaneamento a laser em três dimensões e métodos de levantamento integrados: reflexão crítica a partir da cooperação FAU USP-DIAPReM. Gestão & Tecnologia de Projetos. São Carlos, v.16, n.3, 2021. https://dx.doi.org/10.11606/gtp.v16Xi3.174457, p. 26.

[18] MOTA, Paula Pontes. Modelo BIM para Gestão de Ativos. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2017, p. 17.

[19] NAHAS, Patricia Viceconti. Antigo e novo nas intervenções em pré-existências históricas: a experiência brasileira. 2015. Tese (Doutorado em Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2015.

[20] TIRELLO, Regina A. Restauro digital de arquitetura histórica de cronologia construtiva complexa: a Casa de Dona Yayá in Computação gráfica: pesquisas e projetos rumo à Educação Patrimonial. Seminário. São Paulo, 2008, p.1-2.

[21] INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (Iphan). Cartas Patrimoniais. 3°ed. rev. aum. – Rio de Janeiro: Iphan, 2004, p.93.

[23] LIMONCELLI, Massimo. Il restauro virtuale in arqueologia. Roma: Carocci Editore S.p.A, 201, p17-19.

[24] Visita guiada realizada junto a Scuola di Specializzazione in Beni Architettonici e del Paesaggio da Università di Roma “LA SAPIENZA”, 2013.

[25] NAPOLI, L., BALDASSARRI, P., Palazzo Valentini: Archaeological discoveries and redevelopment projects. Frontiers of Architectural Research, 2015. Disponível em: file:///C:/Users/Patricia%20Nahas/Downloads/Palazzo_Valentini_Archaeological_discoveries_and_r.pdf.

[27] SOTTILE, Angela. Teorie e tecniche del restauro virtual 3D. Museo Civico di Castelbuono, Castelbuono, Itália, s.d.

[28] TOLENTINO, 2018, p.49.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Os impactos do uso da metodologia BIM no gerenciamento de empreendimentos na gestão pública: estudo de caso em condomínio de Habitação de Interesse Social (HIS)

The impacts of using the BIM methodology in managing projects in public management: case study in a Social Housing condominium (HIS).

Roberta Torales Dionello Mancila | Consórcio Habitação SP | roberta.dionello@habitacaosp.com.br | 0000-0002-0645-4375

Monica Garrido Sarraff Pinheiro | Consórcio Habitação SP | monica.pinheiro@habitacaosp.com.br

Marcos Romano | SEHAB | mromano@prefeitura.sp.gov.br

Leandro Braga de Castro | Consórcio Habitação SP | leandro.castro@habitacaosp.com.br

Murilo dos Santos Costa | Consórcio Habitação SP | murilo.costa@habitacaosp.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14478705

Resumo

A utilização da metodologia *Building Information Modeling* (BIM) na gestão de empreendimentos vem se destacando como uma solução inovadora para otimizar processos no setor da construção civil. Este estudo tem como objetivo discorrer sobre os impactos da adoção do BIM na fiscalização de um empreendimento de HIS, com foco em suas vantagens e desafios. A pesquisa inclui uma revisão bibliográfica das principais publicações sobre o tema e um estudo de caso da parceria entre a Gerenciadora e a Administração Pública municipal na fiscalização de empreendimentos de Habitação de Interesse Social (HIS). Os resultados apontam que com a implementação do BIM no MIP (modelo de informação de Projeto) resultou em melhorias significativas à Administração, especialmente na organização do fluxo de trabalho, na integração entre disciplinas e na eficiência da comunicação entre as partes interessadas. Entre os principais benefícios observados estão a possibilidade de inserir uma grande quantidade de informações nos elementos do projeto e a capacidade de identificar e corrigir interferências entre as diferentes disciplinas envolvidas, evitando erros e facilitando a visualização dos pontos críticos. Isso proporciona uma maior transparência e precisão no desenvolvimento dos projetos, fundamentais para garantir a eficiência, no uso de recursos e no cumprimento dos prazos estabelecidos. Outro aspecto relevante destacado no estudo foi a extração de quantitativos a partir do modelo, na extensão. Ifc, extrações brutas de forma mais ágil e precisas em comparação com métodos tradicionais. No entanto, o estudo também identificou desafios relacionados ao alinhamento dos critérios de medição, modelagem de elementos e à criação de codificações padronizadas. Esses pontos precisam ser aperfeiçoados para que a metodologia alcance um nível maior de confiabilidade e qualidade, promovendo a automação e aumentando a produtividade. O estudo reforça que o BIM tem o potencial de melhorar a qualidade, a economia e a agilidade, contribuindo para a redução de

custos e para o aumento da produtividade. Essa automação não só facilita o acompanhamento das diferentes fases do empreendimento, mas também garante que todos os envolvidos estejam alinhados quanto às decisões e às demandas do projeto, promovendo um ambiente colaborativo e eficaz. Apesar dos benefícios, o estudo também evidencia a importância de uma estruturação adequada do fluxo de trabalho e da qualidade das informações geradas. A correta comunicação entre as partes envolvidas, em tempo hábil, é essencial para que os objetivos sejam alcançados. Dessa forma, a implementação bem-sucedida do BIM depende não só da tecnologia em si, mas também da capacidade dos profissionais de adaptação e da clareza nos processos de gestão. Conclui-se que a metodologia BIM pode trazer avanços significativos para a gestão de empreendimentos de HIS, especialmente ao atender aos princípios de transparência, economia e precisão exigidos nas obras públicas. No entanto, para maximizar os benefícios dessa metodologia, é necessário um maior investimento em padronização e treinamento, garantindo que as partes interessadas estejam alinhadas e que os processos sejam executados de forma eficiente.

Palavras-chave: BIM. Tecnologia. Obras Públicas. Inovação. Construção Civil.

Abstract

The use of the Building Information Modeling (BIM) methodology in project management has stood out as an innovative solution for optimizing processes in the construction sector. This study aims to discuss the impacts of adopting BIM on the supervision of an HIS project, focusing on its advantages and challenges. The research includes a bibliographical review of the main publications on the topic and a case study of the partnership between the Manager and the municipal Public Administration in the inspection of Social Interest Housing (HIS) projects. The results indicate that the implementation of BIM in the MIP (Project information model) resulted in significant improvements to the Administration, especially in the organization of the workflow, the integration between disciplines and the efficiency of communication between interested parties. Among the main benefits observed are the possibility of inserting a large amount of information into project elements and the ability to identify and correct interferences between the different disciplines involved, avoiding errors and facilitating the visualization of critical points. This provides greater transparency and precision in the development of projects, essential to guarantee efficiency in the use of resources and compliance with established deadlines. Another relevant aspect highlighted in the study was the extraction of quantities from the model, in extension. Ifc, raw extractions more agile and accurate compared to traditional methods. However, the study also identified challenges related to aligning measurement criteria, modeling elements, and creating standardized codings. These points need to be improved so that the methodology reaches a higher level of reliability and quality, promoting automation and increasing productivity. The study reinforces that BIM has the potential to improve quality, economy and agility, contributing to cost reduction and increased productivity. This automation not only facilitates monitoring of the different phases of the project, but also ensures that everyone involved is aligned regarding the decisions and demands of the project, promoting a collaborative and effective environment. Despite the benefits, the study also highlights the importance of adequately structuring the workflow and the quality of the information generated. Correct communication between the parties involved, in a timely manner, is essential for the objectives to be achieved. Therefore, the successful implementation of BIM depends not only on the technology itself, but also on the ability of professionals to adapt and clarity in management processes. It is concluded that the BIM methodology can bring significant advances to the management of HIS projects, especially when meeting the principles of transparency, economy and precision required in public works. However, to maximize the benefits of this methodology, greater investment in standardization and training is required, ensuring that stakeholders are aligned and that processes are executed efficiently.

Keywords: BIM. Technology. Public works. Innovation. Civil Construction.

INTRODUÇÃO

O presente estudo aborda a experiência de fiscalização de projetos desenvolvidos com o uso das ferramentas e metodologias BIM, por meio de um ambiente comum de dados (Trimble) e de softwares de gerenciamento do modelo de informação de projeto como o Solibri e a extração de quantitativos adotando padrões abertos (IFC - *Industry Foundation Classes*) visando a elaboração de planilhas orçamentárias referenciais que embasam os processos de contratação de obras.

O objetivo geral deste artigo é apresentar a vivência na parceria entre a Gerenciadora e a Administração Pública na tarefa de fiscalização de empreendimentos desenvolvidos em BIM (*Building Information Modeling*). O projeto busca, por meio da apresentação de pesquisas de natureza bibliográfica, somadas a apresentação de um estudo de caso, explorar cada etapa do processo de fiscalização do empreendimento, desde a concepção, planejamento e definição até o desenvolvimento da documentação do Modelo de Informação do Projeto, utilizando padrões abertos de interoperabilidade.

A assessoria possibilita um entendimento na prática, dos desafios e obstáculos que surgem ao longo do caminho, expondo os ganhos obtidos e os pontos críticos que exigem atenção para futuros empreendimentos que intencionam fazer uso desta metodologia. Além disso, permite medir os benefícios reais que as ferramentas de tecnologias BIM podem oferecer, como maior eficiência no processo e resultados mais precisos.

Por fim, este artigo teve como principal norteador não se limitar a documentar as lições aprendidas, mas servir como contribuição valiosa a fim de tornar os caminhos menos tortuosos para futuros processos licitatórios e estimular a adoção desmistificada do BIM demonstrando os desafios e benefícios nos processos de contratação, planejamento e fiscalização de projetos e obras públicas.

MÉTODO

CARACTERIZAÇÃO DA METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia combina revisão bibliográfica e estudo de caso. A revisão bibliográfica, segundo Gil (2002) [1], organiza o conhecimento existente, contextualiza o problema e evita redundâncias, contribuindo para o rigor e alinhamento ao estado da arte. Já o estudo de caso, conforme Yin (2015) [2] e Stake (1995) [3], permite uma análise detalhada em contextos reais. A combinação dessas abordagens, como destaca Creswell (2010) [4], traz profundidade teórica e observação prática, resultando em uma pesquisa sólida.

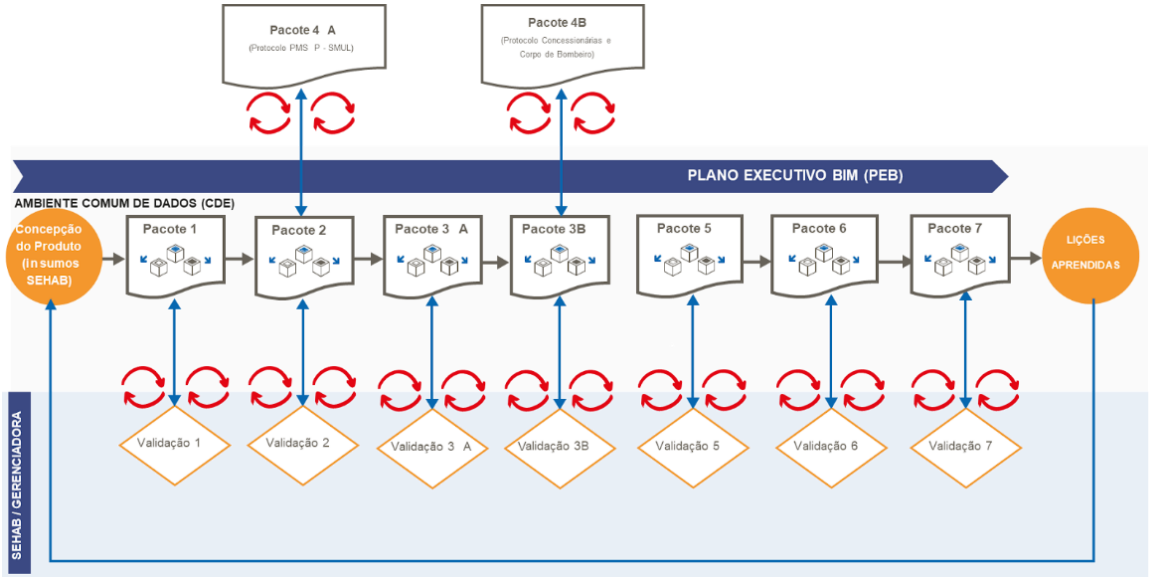
CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Diante do exposto sobre a implementação do BIM na Administração Pública, esta administração decidiu alinhar-se à Estratégia BIM BR, adotando padrões neutros de interoperabilidade. Dessa forma, a escolha dos softwares é livre, pois atende aos requisitos de modelagem, informação, importação, exportação, interoperabilidade e análise, conforme o Caderno de Modelagem BIM: Projetos de HIS.

Ao adotar o BIM, a administração pública municipal adequou o fluxo de trabalho de desenvolvimento de Projeto, definindo 7 marcos de validações, denominados pacotes, para organizar a evolução da informação do projeto.

Neste fluxo desenvolvido, cabe ao Projetista a produção do escopo definido por pacote utilizando o software de preferência com o entregável no padrão aberto, através do compartilhamento da informação aprovada pela contratada no CDE de acordo com o cronograma de entregas e organização de pastas definidos no PEB.

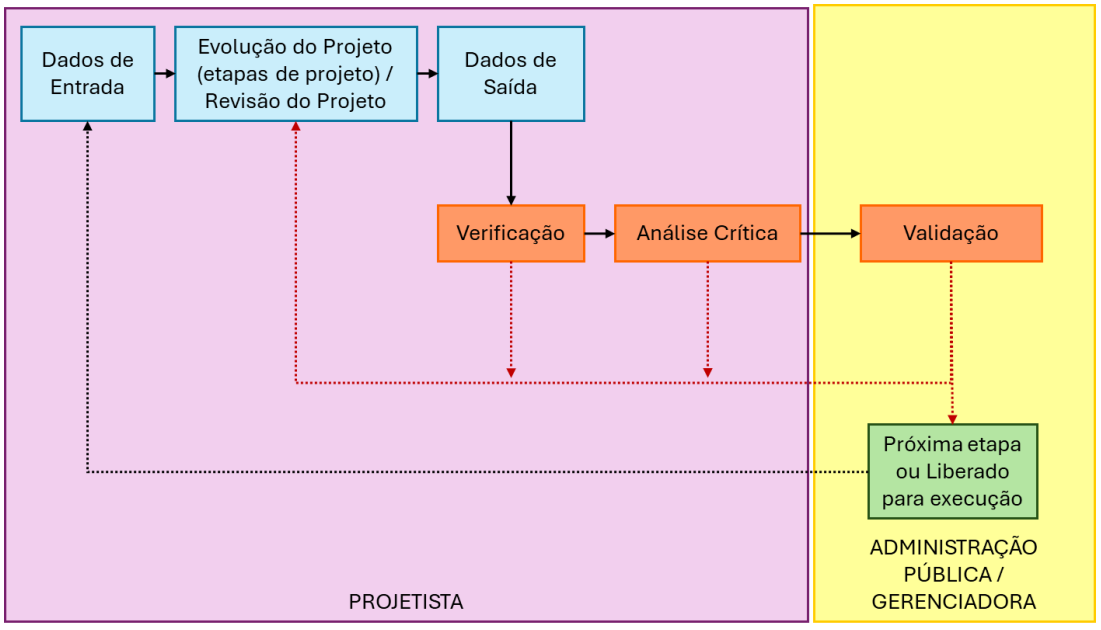
Figura 1 – Fluxo de trabalho e desenvolvimento de Projeto – Definição dos marcos de validação



Fonte: Figura elaborada pelos autores (2024)

A cada marco são realizadas as validações pelo contratante, previstos dois ciclos no cronograma. É de responsabilidade da gerenciadora aferir os produtos entregues pelas projetistas, de forma a subsidiar a tomada de decisão em relação a aprovação dos produtos pela contratada.

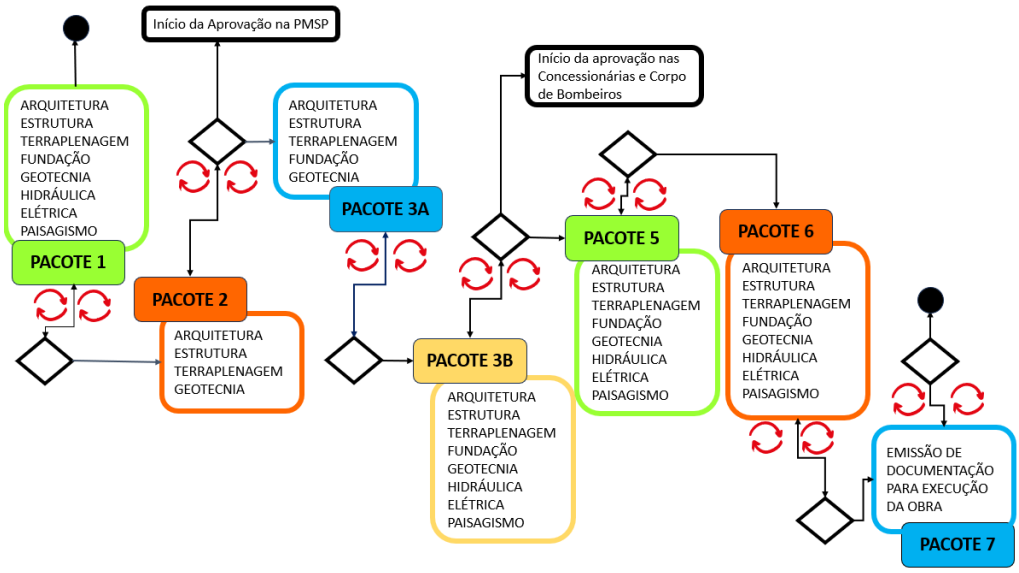
Figura 2 – Fluxo de validação das etapas de Projeto



Fonte: Adaptado ABNT 19650-1.

No processo analisado para este estudo de caso, os pacotes que não cumpriram os 2 ciclos de validação previstos foram o 3B, 5, 6 e 7.

Figura 3 – Descrição dos Pacotes 01 a 07



Fonte: Figura elaborada pelos autores (2024)

No Pacote 3B, a apresentação inicial das disciplinas de instalações hidráulicas e elétricas revelou que nem todas as disciplinas participaram das decisões, contrariando a exigência estabelecida pela administração pública. Foi observado também uma falta de coordenação e organização dos projetos com base na gestão da informação.

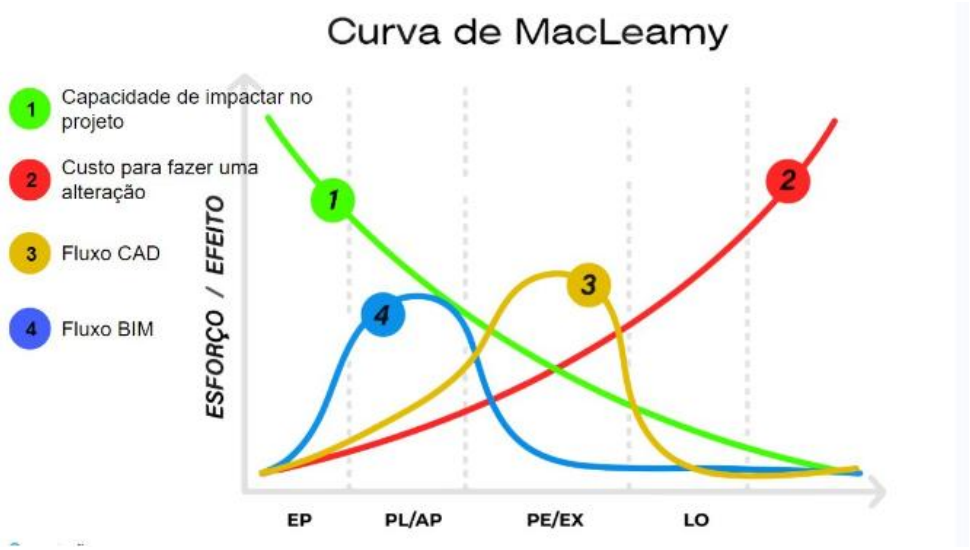
A compatibilização entre disciplinas teve início apenas no Pacote 5, segundo os critérios de validação estabelecidos. No entanto, algumas inconsistências planeiam decisões integradas de outras disciplinas, impossibilitando uma resolução independente.

Sob a orientação da administração pública, a gerenciadora avançou para a Etapa 5 com erros remanescentes do Pacote 3, devido à promessa da contatada de ajustes posteriores. Isso resultou em um número excessivo de conferências, mantendo o prazo de revisões e análises, o que levou a um número maior de ciclos de revisão do que o previsto no cronograma.

O Pacote 6 foi particularmente desafiador para a projetista, uma vez que seu escopo incluía a validação da informação. Tal como no Pacote 5, a contratada deixou para inserir a codificação neste momento, revelando uma falta de padronização e dificuldades para determinar o que deveria ser modelado. A compreensão do nível de detalhe necessário para cada elemento teria possibilitado uma melhor produtividade desde o início do processo.

No Pacote 7, destinado à extração de quantitativos e emissão das pranchas, a contratada optou por uma modelagem simplificada, e com informação. Isso resultou na falta de redução de esforços no detalhamento, contrariando a previsão da curva de MacLeamy, que sugere uma economia de esforço nesta fase com uma modelagem adequada desde o princípio.

Figura 4 – Curva de MacLeamy

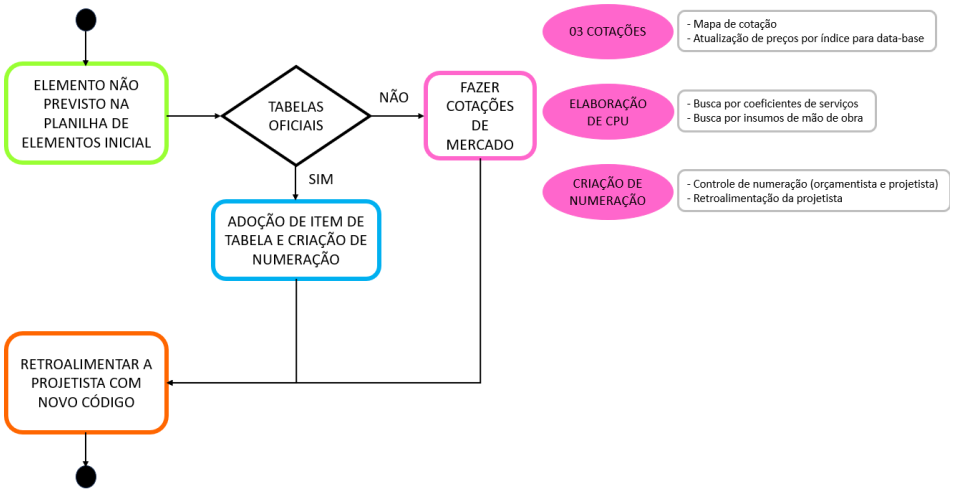


Fonte: Construflow – figura extraída de artigo publicado em 16/10/2023 por NETO (2023) [5]

No desenvolvimento do Pacote 6, a administração solicitou a gerenciadora o início da elaboração da planilha orçamentária de referência, parte do material técnico para o processo licitatório de obras. A partir deste ponto, a equipe de orçamento da gerenciadora passou a atuar de forma mais integrada com a equipe de projetos e a projetista colaborando para complementar as informações necessárias para a extração de quantitativos.

O primeiro passo para o suporte da área de orçamentos ao projetista foi a criação conjunta de novos códigos de serviços que inicialmente não estavam previstos na planilha de elementos. Durante esse processo, o projetista enviou, por e-mail, listas de serviços para os quais solicitou a criação de códigos a serem inseridos na modelagem. A equipe de orçamentos então, consultou tabelas oficiais de preços (como SIURB, SINAPI, CDHU etc.) e, na ausência do serviço ou insumo, criou um código para, em seguida, elaborar a cotação de mercado e compor os preços unitários. Esse processo foi repetido diversas vezes ao longo do desenvolvimento da modelagem, conforme o fluxo demostrado a seguir:

Figura 5 – Descrição do processo do fluxo de trabalho para codificação dos serviços para alimentação da modelagem



Fonte: Figura elaborada pelos autores (2024)

Importante destacar que a classificação dos elementos, definida pela administração pública, é fornecida ao projetista desde o início do contrato. No entanto, os elementos não foram classificados nas entregas dos primeiros pacotes, o que gerou retrabalho e a necessidade de novos elementos a serem inseridos e validados pela administração, além de novos códigos de CPU. Como consequência, houve uma alta demanda por cotações de mercado, comprometendo a produtividade do material licitatório e tornando o processo mais denso e moroso.

Conforme a evolução da modelagem, foram sendo enviadas pela projetista à equipe de orçamentos da gerenciadora, planilhas em Excel contendo as extrações brutas de quantitativos dos elementos. Tais planilhas continham o código do serviço, descrição do serviço, unidade e quantidade. Em um primeiro momento, diversas informações foram enviadas de forma incompleta ou em formato de difícil compreensão, o que fomentou uma intensa troca de mensagens via aplicativo de mensagens (whatsapp) e/ou e-mail bem como reuniões e ligações telefônicas visando a clarificação das informações.

Importante salientar que a falta de familiaridade da projetista aos critérios de medição dos itens inseridos ao projeto, resultou nas primeiras extrações recebidas que resultaram em planilhas de algumas disciplinas, em especial de instalações, com aproximadamente 60 mil linhas, o que tornou a avaliação e adequação dos itens para inserção na planilha orçamentária bastante trabalhosa.

Outra informação importante a ser pontuada é que, em função da implementação da gerenciadora ocorrer por demanda, a equipe de orçamentos possuía pouca experiência com a utilização e visualização dos modelos por meio dos softwares BIM, acarretando dificuldades na visualização do empreendimento como um todo e ter uma melhor noção das informações necessárias para a elaboração da Estrutura Analítica de Projeto (EAP).

Em função dessa dificuldade a equipe de orçamento passou a frequentar as reuniões periódicas do empreendimento. Esta troca de informações mostrou-se muito valiosa para ambas as equipes: projetos e planejamento.

Após o melhor entendimento do projeto, bem como das informações necessárias a serem extraídas do modelo e a análise das extrações de quantitativos recebidos, foi possível elaborar uma Estrutura Analítica de Projeto (EAP) mais compatível e em seguida dar sequência ao desenvolvimento do orçamento.

A partir do acompanhamento dos processos de análise da modelagem e extração de quantitativos advindos do modelo foi possível perceber as reais vantagens e desafios que o uso da metodologia BIM proporciona durante o processo. Tais percepções serão descritas de forma mais detalhada a partir da próxima seção.

RESULTADOS

Os resultados indicam a necessidade de avanços para otimizar o fluxo de trabalho do modelo de informação de projetos, resumidos em seis pontos principais:

- Automação e Precisão na Validação de Ativos Virtuais: A inspeção visual isolada é insuficiente para a extração precisa de quantitativos. A automação permite focar em tarefas de alto valor e reduzir erros, melhorando a confiabilidade dos dados.
- BIM para Validação de Modelos: O BIM acrescenta controle e precisão ao permitir uma análise multidimensional dos modelos, assegurando a integridade e consistência conforme os requisitos do projeto.
- Indicadores de Desempenho Específicos para BIM: Exigindo a criação de métricas que capturem o desempenho das equipes e as particularidades do BIM.

- Gestão da Informação no Âmbito Contratual: A informação deve ser gerida com base não apenas no projeto, mas também nos requisitos contratuais, promovendo alinhamento com as expectativas do contrato e transparência ao longo do processo.
- Atualização Contínua do Plano de Execução BIM (PEB): O PEB deve ser dinâmico e atualizado regularmente, evitando manter o template de forma genérica, para garantir que as necessidades específicas do projeto sejam atendidas.
- Classificação e Codificação Administrativa nas Fases do Projeto: A classificação e codificação precisam ser estruturadas por fase, por exemplo, durante o desenvolvimento do projeto e na etapa de planejamento para a contratação, promovendo controle e organização.

Esses itens ressaltam que uma abordagem integrada, com foco em automação, indicadores ajustados, gestão contratual e melhoria contínua, é essencial para garantir precisão, eficiência e sucesso na execução de projetos complexos.

No que diz respeito aos ganhos na extração de quantidades utilizando a metodologia BIM (*Building Information Modeling*) foram observadas melhorias em relação a precisão e aceleração dos processos de quantificação. As áreas brutas extraídas auxiliam significativamente o trabalho do orçamentista, reduzindo erros de cálculo e a dependência de estimativas manuais. Isso facilita a geração de orçamentos mais confiáveis e detalhados, com uma visão clara dos recursos necessários. No entanto, as extrações provenientes da modelagem refletem área bruta, sendo necessário realizar a adaptação dessas áreas para que fiquem de acordo com as premissas das normas de medição das tabelas oficiais como CDHU, SIURB, SINAPI, entre outras.

Os desafios incluem ainda que a necessidade de treinamento específico para os profissionais que lidam com orçamentos, bem como a adaptação de processos e softwares tradicionais às plataformas BIM. A implementação pode exigir investimentos iniciais significativos em tecnologia e capacitação, mas os benefícios para a gestão de custos e a precisão do orçamento tendem a justificar esses esforços a longo prazo.

CONCLUSÃO

A inserção do BIM (Building Information Modeling) na gestão e fiscalização de empreendimentos de HIS tem sido feita por iniciativa da Administração Municipal visando atender ao Decreto Federal nº 11.888 de 2024 (BRASIL, 2024) [6], a Lei Federal nº 14.133 de 1º de Abril de 2021 (BRASIL, 2021) [7] e estar alinhada com a Estratégia BIM BR. Este é um processo gradual e irreversível que deve se consolidar ao longo do tempo uma vez que o governo federal tem tomado medidas para garantir a disseminação do BIM no Brasil.

A análise teórica dos benefícios e desafios da implantação do BIM, foi complementada com um estudo de caso da parceria entre a Gerenciadora e a Administração municipal para a fiscalização de empreendimentos de Habitação de Interesse Social (HIS). Os resultados demonstraram que a adoção do BIM trouxe melhorias na organização do fluxo de trabalho, na integração entre disciplinas e na comunicação, além de permitir maior precisão na identificação de interferência e na extração bruta de quantitativos.

Entretanto, desafios como o alinhamento de critérios de medição e a padronização de codificações precisam ser superados para uma maior automação e produtividade. O estudo indica que, embora o BIM tenha grande potencial para melhorar a gestão de empreendimentos de HIS, sua implementação bem-sucedida requer treinamento e investimento em padronização.

Como próximos passos a serem implementados para dar prosseguimento ao processo de acompanhamento do ciclo de vida do empreendimento estão sendo elaborados pela gerenciadora os

objetivos, indicadores e metas a serem monitorados na fase de execução de obras, tendo como meta fornecer uma base sólida para o desenvolvimento dos requisitos necessários para o Modelo de Informação do Ativo.

REFERÊNCIAS

[1] GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002.

[2] Yin RK. Estudo de caso: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman; 2015

[3] STAKE, R. E. The art of case study research. Thousand Oaks: SAGE Publications, 1995

[4] CRESWELL, John W. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto; tradução Magda Lopes. 3. ed. Porto Alegre: ARTMED, 296 p. 2010.

[5] NETO, J. Se perdeu nas curvas do bim. LinkedIn: Recuperado em 28 de outubro de 2024. disponível em: https://www.linkedin.com/pulse/voc%C3%AA-se-perdeu-nas-curvas-do-bim-jorge-neto-h1amf/?trackingId=dpfs06OLRUG%2F%20yOurVQ2FtZHdyOurVQ%3D%3D. Acesso em 28 outubro 2024.

[6] BRASIL. Decreto Federal nº 11.888: Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil - Estratégia BIM BR e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling - BIM BR, Brasília, 2024.

[7] BRASIL. Lei Federal nº 14.133: Lei de Licitações e Contratos Administrativos, Brasília, 2021.

[8] COELHO, Francisco et al. A Metodologia BIM (Building Information Model) em Obras Públicas. SCIENTIA Egressos, Engenharia. Faculdade Luciano Feijão, Sobral-CE, v.1, p. 227-238, 2022.

[9] MANZIONE, Leonardo; MELHADO, Silvio Burrattino; NÓBREGA, Claudino Lins. BIM e Inovação em Gestão de Projetos de acordo com a norma ISO 19650. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora LCT, 2021. 151p.

[10] SAFTPLAN. Uma Abordagem inicial sobre os impactos da metodologia BIM na gestão pública. Drops de BIM Conhecimento. Disponível em: < https://www.gestaopublica.softplan.com.br/wp-content/uploads/2021/09/drops-de-conhecimento-bim.pdf >. Acesso em: 19, setembro e 2024 – 18hs.n. 2, p. 233-240, mar. 2005. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.07.004

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Pesquisa sobre a adoção da inteligência artificial na Indústria AEC

Research on the adoption of artificial intelligence in the AEC Industry

Vagner Almeida Lima | ENCIBRA S. A. | vagner.lima@encibra.com.br
Eduardo de Rezende Francisco | FGV | eduardo.francico@fgv.br

DOI: 10.5281/zenodo.14478758

Resumo

A Indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) é um dos pilares da economia global, contribuindo significativamente para o desenvolvimento de infraestruturas essenciais. No entanto, este setor enfrenta desafios crônicos, como baixa produtividade, extrapolação de custos e prazos, além de problemas de gerenciamento e comunicação. Essas dificuldades resultam em atrasos frequentes, aumento de custos e impacto na qualidade dos projetos. Em contrapartida, a evolução tecnológica, especialmente a Inteligência Artificial (IA), oferece soluções promissoras para transformar processos e melhorar a eficiência operacional. Embora a IA já demonstre grande potencial em setores como a manufatura, sua adoção na Indústria AEC ainda é limitada, apesar das grandes possibilidades. Este estudo tem como objetivo analisar os fatores que influenciam a adoção da IA na Indústria AEC no Brasil, buscando oferecer subsídios para gestores e profissionais do setor. A relevância do estudo reside em identificar os principais desafios e oportunidades para a implementação de uma tecnologia emergente, promovendo aumento na produtividade, qualidade e sustentabilidade dos projetos. A pesquisa utiliza uma abordagem metodológica qualitativa que envolveu entrevistas com profissionais do setor, com o objetivo de identificar barreiras e facilitadores da adoção da IA na Indústria AEC. A coleta de dados foi realizada por meio de entrevistas semiestruturadas em 30 profissionais de empresas de arquitetura, engenharia e construção no Brasil. Os dados foram analisados utilizando compreendeu a análise de conteúdo das entrevistas. Os resultados devem auxiliar na construção de um modelo teórico adequado, identificando fatores relevantes para a compreensão da adoção da IA na Indústria AEC. Além disso, a pesquisa visou captar a percepção dos profissionais e contribuir significativamente para a melhoria dos processos no setor, aumentando a produtividade, a segurança e a precisão dos projetos. O estudo aumentou a compreensão sobre como fatores como utilidade percebida, expectativa de desempenho, influência social e condições facilitadoras se relacionam com a intenção de adoção da IA. A principal contribuição deste estudo é oferecer um panorama claro dos desafios e oportunidades para a adoção da IA na Indústria AEC. Além de contribuir teoricamente para os estudos sobre a adoção de tecnologia, a pesquisa apresenta implicações práticas, fornecendo insights valiosos para gestores sobre como enfrentar barreiras tecnológicas e culturais na implementação da IA. Espera-se que as conclusões apoiem o avanço da transformação digital no setor, tornando-o mais competitivo e sustentável a longo prazo.

Palavras-chave: Inteligência artificial. Indústria AEC. Adoção de tecnologia. Transformação digital.

Abstract

The Architecture, Engineering, and Construction (AEC) industry is a cornerstone of the global economy, contributing significantly to the development of essential infrastructure. However, this sector faces chronic challenges such as low productivity, cost and deadline overruns, and issues in management and communication. These difficulties result in frequent delays, increased costs, and impacts on project quality. On the other hand,

technological advancements, especially Artificial Intelligence (AI), offer promising solutions to transform processes and enhance operational efficiency. Although AI has already shown great potential in sectors like manufacturing, its adoption in the AEC industry is still limited, despite the significant opportunities. This study aims to analyze the factors influencing the adoption of AI in the AEC industry in Brazil, providing insights for managers and industry professionals. The relevance of the study lies in identifying the main challenges and opportunities for implementing this emerging technology, promoting an increase in productivity, quality, and sustainability of projects. The research employs a qualitative methodological approach that involved interviews with industry professionals to identify barriers and facilitators to AI adoption in the AEC industry. Data collection was conducted through semi-structured interviews with 30 professionals from architecture, engineering, and construction companies in Brazil. The data were analyzed using content analysis of the interviews. The results should assist in constructing a suitable theoretical model, identifying relevant factors for understanding the adoption of AI in the AEC industry. Additionally, the research aimed to capture the professionals' perceptions and contribute significantly to process improvements in the sector, enhancing productivity, safety, and accuracy of projects. The study increased understanding of how factors such as perceived utility, performance expectancy, social influence, and facilitating conditions relate to the intention to adopt AI. The main contribution of this study is to offer a clear overview of the challenges and opportunities for adopting AI in the AEC industry. Besides theoretically contributing to studies on technology adoption, the research presents practical implications, providing valuable insights for managers on how to address technological and cultural barriers in implementing AI. The findings are expected to support the advancement of digital transformation in the sector, making it more competitive and sustainable in the long term.

Keywords: Artificial intelligence. AEC Industry. Technology adoption. Digital transformation.

INTRODUÇÃO

A indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) constitui um dos principais suportes da economia mundial, sendo um setor chave para o desenvolvimento de infraestruturas e edificações. Em 2023, essa indústria representou um valor de mercado de 12 trilhões de dólares, conforme destacado pela McKinsey (1). No entanto, apesar de sua significativa importância, a indústria enfrenta desafios persistentes que restringem seu crescimento e eficiência produtiva em comparação com outros setores industriais. Problemas como a superação de orçamentos e prazos são comuns e frequentemente vinculados a deficiências financeiras, falhas gerenciais dos contratantes e dificuldades oriundas das interações com clientes e projetistas [2]. Esses elementos contribuem para um cenário de construção marcado por ineficiências, incluindo gerenciamento deficiente, mobilização demorada e falhas de comunicação, que são agravadas por condições meteorológicas adversas e atrasos nas aprovações governamentais.

Por outro lado, os avanços tecnológicos têm trazido soluções inovadoras para esses desafios. Especificamente, a Inteligência Artificial (IA) tem se mostrado uma ferramenta com grande potencial para revolucionar processos em várias indústrias. Na manufatura, por exemplo, automação e técnicas avançadas de IA têm conduzido a melhorias significativas em eficiência de custos, redução dos tempos de produção, e aumento da segurança e performance organizacional [3]. Contudo, na indústria AEC, a implementação da IA ainda é incipiente, embora seu potencial para aprimorar operações construtivas e gestão de riscos seja evidente [4,5], além do monitoramento de projetos [6]. Pesquisas recentes sugerem que tecnologias digitais como a IoT, robótica e IA precisam ser adotadas de forma mais extensa para fomentar qualidade, produtividade e competitividade no setor AEC [7].

Apesar desses benefícios, a adoção da IA na indústria AEC encontra barreiras significativas [8]. Os desafios vão desde aspectos técnicos, como a complexidade dos ambientes de construção e a necessidade de interação com a mão de obra humana, até obstáculos gerenciais e organizacionais, como o conservadorismo nas práticas gerenciais e a singularidade dos projetos. Adicionalmente, barreiras econômicas, incluindo os elevados custos iniciais e a falta de profissionais qualificados, também impedem uma maior penetração dessa tecnologia [3].

Neste panorama, emerge uma questão fundamental: quais as prioridades, na visão dos profissionais do setor, para facilitar a adoção da inteligência artificial na indústria AEC? Este estudo tem como objetivo analisar os fatores que influenciam tal adoção, buscando identificar as áreas críticas que gestores devem abordar para promover uma implementação eficaz da IA neste segmento vital. Assim, será examinada a percepção dos profissionais da indústria sobre a adoção tecnológica, em especial da IA, e como os modelos conceituais existentes sobre a adoção de tecnologia podem contribuir para ajustar as estratégias de implementação tecnológica às peculiaridades do setor.

MÉTODO

Este estudo adota uma abordagem qualitativa para investigar a percepção e o potencial de adoção de tecnologias emergentes, especialmente a inteligência artificial (IA), na Indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). O método de pesquisa qualitativa foi escolhido para proporcionar uma compreensão profunda e contextualizada sobre as motivações, preocupações e condições que influenciam a adoção de IA nessa indústria, considerando a complexidade dos fatores tecnológicos e organizacionais envolvidos.

Para compor o grupo de entrevistados, selecionamos aleatoriamente 30 profissionais da indústria AEC, sendo dez representantes de cada segmento: Arquitetura, Engenharia e Construção. A amostra foi obtida a partir da relação das 500 maiores empresas listadas no Ranking da Engenharia Brasileira de 2023 (9), garantindo assim a inclusão de profissionais que atuam em organizações de grande porte, com potencial para liderar a inovação e a adoção de tecnologias avançadas. A seleção aleatória visou assegurar a representatividade e a diversidade de experiências, funções e perspectivas, fator crucial para a validade dos resultados qualitativos.

A coleta de dados foi realizada por meio de entrevistas semiestruturadas, conduzidas em três partes, conforme descrito a seguir. As entrevistas foram registradas e transcritas com o consentimento dos participantes para posterior análise qualitativa.

Na primeira parte da entrevista, buscamos explorar a familiaridade dos participantes com tecnologias em uso e emergentes na indústria AEC, sem mencionar diretamente a IA, com o intuito de identificar se e quando o tema seria levantado espontaneamente pelos profissionais. As perguntas feitas nessa fase incluíram:

- Quais as principais tecnologias que você sabe que estão sendo utilizadas na indústria de AEC?
- Quais as principais novas tendências de tecnologia você percebe para a indústria de AEC?
- Quão aberto você está para adotar novas tecnologias nas suas atividades?
- Quais fatores influenciam sua decisão de adotar ou não novas tecnologias?

Essas perguntas buscaram investigar a familiaridade dos profissionais com inovações e explorar os aspectos que influenciam a adoção tecnológica, como benefícios percebidos, compatibilidade com os processos e infraestrutura existente, entre outros.

Na segunda parte, os entrevistados foram expostos a um vídeo introdutório sobre o conceito de inteligência artificial e seu potencial de aplicação na indústria AEC. O objetivo desta etapa foi assegurar um nível de conhecimento comum entre os participantes para a fase subsequente da entrevista, além de identificar eventuais mudanças nas respostas e percepções após a introdução formal ao tema da IA.

Após a introdução ao conceito de IA, realizamos uma série de perguntas específicas para entender o grau de familiaridade dos participantes com IA, suas experiências passadas e os fatores que podem influenciar a adoção dessa tecnologia em suas atividades profissionais. As perguntas incluíram:

- Qual é o seu nível de familiaridade com tecnologias de inteligência artificial?
- Você pode descrever alguma experiência anterior com a aplicação de IA em projetos de AEC?
- Quão aberto você está para adotar a IA em suas atividades?
- Quais fatores influenciam sua decisão de adotar a IA nas suas atividades?
- Você acha que o uso de IA nas suas atividades proporcionaria ganhos de performance?
- Você considera que será fácil utilizar IA nas suas atividades?
- Como você vê o aspecto de confiança em relação à IA na nossa indústria?
- A transparência tem um papel nisso?
- E quanto ao receio de substituição?

Essas questões procuraram investigar aspectos como a prontidão dos profissionais para a adoção de IA, a percepção de facilidade de uso e os fatores críticos de confiança e transparência.

Os dados qualitativos obtidos nas entrevistas foram analisados por meio de análise de conteúdo. A técnica permitiu categorizar e interpretar as respostas dos participantes, identificando temas recorrentes e divergentes que descrevem a percepção, os desafios e as oportunidades relacionados à adoção de IA na indústria AEC.

RESULTADOS

A seguir é apresentada uma síntese dos principais resultados das entrevistas realizadas.

QUAIS AS PRINCIPAIS TECNOLOGIAS QUE VOCÊ SABE QUE ESTÃO SENDO UTILIZADAS NA INDÚSTRIA DE AEC?

O presente estudo identificou diversas tecnologias que estão sendo utilizadas atualmente na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) no Brasil. As entrevistas revelaram uma adoção crescente de tecnologias digitais e de automação que facilitam a integração de dados, o planejamento e a execução de projetos, especialmente nas áreas de saneamento, infraestrutura e construção civil. A seguir, detalham-se as principais tecnologias mencionadas pelos profissionais entrevistados, com base na análise das transcrições das entrevistas.

Modelagem da Informação da Construção (BIM): Os entrevistados citaram a Modelagem da Informação da Construção (BIM) como uma tecnologia essencial e amplamente adotada na indústria AEC, sendo a tecnologia mais mencionada por todos os entrevistados.

Inteligência Artificial (IA): A Inteligência Artificial (IA) foi mencionada como uma tecnologia emergente, com aplicações voltadas para a análise de dados e a automação de processos na construção civil. Em uma das entrevistas, o entrevistado destacou que a IA tem sido utilizada para otimizar o posicionamento de estruturas e facilitar estudos preliminares em áreas de construção, sugerindo que essa tecnologia possui um alto potencial de impacto no setor. Apesar da receptividade dos profissionais mais jovens, alguns entrevistados indicaram que a adoção da IA ainda gera desconfiança, sendo necessário um processo de familiarização e treinamento para que a tecnologia seja plenamente integrada ao trabalho diário.

Outras tecnologias principalmente mencionadas foram a novos métodos construtivos, drones para levantamento planialtimétrico, softwares de cálculo estrutural, sistemas de gestão e digitalização de ativos (GIS) e o escaneamento a laser.

QUÃO ABERTO VOCÊ ESTÁ PARA ADOTAR NOVAS TECNOLOGIAS NAS SUAS ATIVIDADES?

A análise das entrevistas revelou que, em geral, os entrevistados demonstraram uma abertura positiva para a adoção de novas tecnologias na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC),

embora essa disposição varie de acordo com fatores como idade, experiência profissional e familiaridade prévia com tecnologias específicas.

Quais fatores influenciam sua decisão de adotar ou não novas tecnologias? Quais destes fatores são prioritários para a adoção de uma nova tecnologia?

A decisão de adotar novas tecnologias na indústria AEC é influenciada por fatores como custo, eficiência, facilidade de aprendizado e apoio organizacional. O custo e a justificativa do investimento são fatores críticos, especialmente para tecnologias de alto valor como robôs e drones, que são mais viáveis em grandes projetos onde o retorno financeiro é evidente. A eficiência potencial da tecnologia também é um fator motivador relevante, pois ferramentas como BIM e automação robótica podem otimizar processos e reduzir erros, aumentando a produtividade e reduzindo o tempo de execução dos projetos.

Além disso, a facilidade de aprendizado e a necessidade de treinamento impactam a aceitação de novas tecnologias. Tecnologias que exigem menos treinamento são mais bem-vindas, enquanto aquelas com curvas de aprendizado complexas enfrentam resistência. O apoio organizacional e o incentivo da liderança também são fundamentais, pois ambientes que promovem a inovação facilitam a adoção, enquanto culturas conservadoras tendem a limitar o interesse por novas ferramentas. Esses fatores determinam a predisposição dos profissionais para integrar novas tecnologias em suas atividades diárias.

Qual é o seu nível de familiaridade com tecnologias de inteligência artificial?

A análise indica que a maioria dos entrevistados possui familiaridade inicial ou intermediária com a Inteligência Artificial (IA), sendo o contato direto com a tecnologia ainda limitado. A IA é frequentemente conhecida de forma indireta, com alguns profissionais experimentando ferramentas de linguagem como o ChatGPT para apoio em tarefas específicas, mas sem uso prático extenso. Enquanto profissionais mais jovens ou com maior exposição a tecnologias digitais demonstram curiosidade e disposição para explorar a IA, outros, principalmente os com mais experiência na área, mantêm uma postura cautelosa, destacando a necessidade de treinamento e compreensão da tecnologia para que possam utilizá-la de forma segura e eficaz.

A abertura para aprender sobre a IA é perceptível, especialmente diante do potencial da tecnologia para agilizar processos e fornecer suporte analítico. Em geral, os profissionais veem a IA como uma ferramenta promissora, mas reconhecem que maior familiaridade é necessária para que ela seja incorporada plenamente em suas rotinas de trabalho.

Você pode descrever alguma experiência anterior com a aplicação de IA em projetos de AEC?

Os profissionais relataram experiências iniciais e diversificadas com IA, geralmente voltadas ao apoio em tarefas específicas e experimentação de ferramentas. As principais experiências destacadas incluem:

Uso do ChatGPT para Suporte Técnico e Automação de Tarefas: Vários entrevistados mencionaram o uso do ChatGPT como uma ferramenta auxiliar em suas atividades. A IA foi utilizada para gerar código, elaborar documentação técnica e auxiliar em cálculos específicos, como a criação de scripts em AutoCAD para otimizar o trabalho com dados de profundidade. A IA foi vista como uma forma de economizar tempo em tarefas repetitivas, permitindo aos profissionais focarem em atividades mais estratégicas.

Aplicações Experimentais e Interesse em Exploração de Novas Funcionalidades: Alguns entrevistados mencionaram experiências experimentais com a IA explorando funcionalidades. Eles utilizaram IA em

atividades de planejamento e prototipagem de projetos, onde a tecnologia forneceu sugestões e insights preliminares. Esse uso inicial foi destacado como uma oportunidade para entender melhor o potencial da IA, embora os entrevistados reconheçam a necessidade de aprimorar suas habilidades para extrair resultados mais específicos e confiáveis da tecnologia.

QUÃO ABERTO VOCÊ ESTÁ PARA ADOTAR A IA EM SUAS ATIVIDADES?

Os entrevistados demonstraram uma abertura moderada a alta para adotar a Inteligência Artificial (IA) em suas atividades, com variações baseadas em fatores como experiência profissional, conhecimento prévio da tecnologia e o contexto organizacional. Profissionais mais jovens e aqueles já familiarizados com tecnologias digitais mostraram-se particularmente receptivos, enxergando a IA como uma oportunidade para aumentar a produtividade e otimizar tarefas operacionais. Estes profissionais indicaram disposição para investir tempo em treinamento e experimentar a IA em diferentes aplicações, especialmente em tarefas que envolvem grandes volumes de dados ou atividades repetitivas.

Por outro lado, alguns profissionais experientes mantiveram uma postura mais cautelosa, expressando interesse em adotar a IA, mas com ressalvas quanto à transparência e confiabilidade dos resultados. A falta de compreensão detalhada sobre os critérios de decisão da IA e a necessidade de capacitação específica foram apontadas como desafios. Mesmo entre os mais cautelosos, contudo, a IA é vista como uma ferramenta promissora que pode ser integrada de forma gradual e estratégica, uma vez que a confiança e a familiaridade com a tecnologia sejam fortalecidas.

QUAIS FATORES INFLUENCIAM SUA DECISÃO DE ADOTAR A IA NAS SUAS ATIVIDADES?

A análise das identificou fatores específicos que influenciam a adoção de Inteligência Artificial (IA) nas atividades dos profissionais. Esses fatores envolvem questões técnicas, organizacionais e individuais, que determinam o grau de aceitação e a integração da IA no ambiente de trabalho. Abaixo estão os principais fatores mencionados:

Impacto percebido na produtividade e eficiência: A percepção de que a IA pode melhorar a eficiência e otimizar processos é um fator motivador para a sua adoção. Profissionais que veem a IA como uma ferramenta para simplificar tarefas repetitivas ou para processar grandes volumes de dados de forma mais ágil tendem a estar mais abertos ao uso da tecnologia. A possibilidade de realizar tarefas de forma mais rápida e com menor esforço gera um interesse adicional na incorporação da IA, especialmente em atividades operacionais.

Disponibilidade e acesso a treinamento específico: A necessidade de treinamento adequado foi outro fator essencial apontado pelos entrevistados. Muitos profissionais reconheceram que a IA pode ser uma ferramenta poderosa, mas enfatizaram que é necessário um aprendizado aprofundado para usá-la de maneira eficaz. A falta de capacitação pode limitar a adoção, especialmente para aqueles que não possuem familiaridade com tecnologias digitais avançadas e precisam de suporte para dominar o uso da IA em tarefas específicas.

Transparência e confiabilidade dos resultados: A confiabilidade da IA e a clareza dos critérios utilizados nos resultados foram fatores recorrentes. Os entrevistados expressaram preocupação sobre a precisão das análises geradas pela IA e a dificuldade em entender como a tecnologia chega a determinadas conclusões. Para muitos, a confiança na IA depende de uma maior transparência nos processos, o que é especialmente relevante em atividades críticas, onde decisões baseadas em IA precisam ser verificáveis.

Apoio organizacional e cultura de inovação: O incentivo da liderança e o ambiente de trabalho são fatores importantes para a aceitação da IA. Profissionais que atuam em empresas com uma cultura de

inovação ou onde os gestores promovem o uso de novas tecnologias demonstraram maior disposição para experimentar a IA em suas atividades. O apoio organizacional, que inclui investimento em infraestrutura e em capacitação, cria um ambiente propício para a adoção da IA, facilitando o aprendizado e a integração gradual da tecnologia.

Influência do convívio e interação social com outros usuários de IA: A interação com colegas ou o acompanhamento de resultados positivos obtidos por outros profissionais ao usar a IA também influencia a disposição para sua adoção. O convívio com usuários experientes de IA permite que os profissionais compartilhem dúvidas e práticas, promovendo um ambiente de aprendizado e motivação. A experiência positiva de outros usuários funciona como um incentivo e reduz o receio de incorporar a IA ao dia a dia.

VOCÊ CONSIDERA QUE SERÁ FÁCIL UTILIZAR IA NAS SUAS ATIVIDADES?

A maioria dos entrevistados enxerga desafios no uso da Inteligência Artificial (IA) em suas atividades, indicando que não consideram a tecnologia de fácil implementação. Os profissionais mencionaram que a IA exige um aprendizado inicial significativo, especialmente para entender como interpretar os resultados de forma confiável e aplicá-los com precisão em contextos práticos. Essa curva de aprendizado foi vista como um obstáculo, já que a IA lida com grandes volumes de dados e análises complexas que podem não ser imediatamente intuitivas para todos.

Além disso, alguns entrevistados expressaram preocupações quanto à adequação da IA para tarefas que exigem conformidade com normas rigorosas, o que implica que os usuários precisam de conhecimento prévio e habilidade para validar as respostas geradas. Profissionais familiarizados com tecnologias digitais demonstraram mais confiança na adaptação à IA, mas também reforçaram que uma integração eficaz depende de treinamento específico e suporte contínuo. Portanto, embora exista abertura para o uso da IA, os entrevistados consideram que precisarão de tempo e recursos de capacitação para usá-la com eficácia e segurança em suas atividades.

COMO VOCÊ VÊ O ASPECTO DE CONFIANÇA EM RELAÇÃO À IA NA NOSSA INDÚSTRIA? A TRANSPARÊNCIA TEM UM PAPEL NISSO?

As análises revelam que os entrevistados possuem uma percepção cautelosa em relação à confiança e à transparência da Inteligência Artificial (IA) em suas atividades profissionais. Muitos expressaram preocupações sobre a confiabilidade dos resultados fornecidos pela IA, especialmente em tarefas que exigem precisão rigorosa e conformidade com normas. A falta de clareza sobre os critérios de decisão da IA foi apontada como um fator que gera desconfiança, já que os profissionais nem sempre conseguem compreender como a tecnologia chegou a determinadas conclusões. Essa falta de transparência dificulta a aceitação da IA em atividades críticas e pode levar a um uso limitado da tecnologia.

Os entrevistados com mais experiência na indústria AEC enfatizaram que a confiança na IA só será plenamente alcançada se houver uma maneira de verificar e validar as decisões e recomendações oferecidas pela tecnologia. A exigência de uma "confiança desconfiada", onde os profissionais precisam conferir os resultados da IA antes de utilizá-los, destaca a importância de uma supervisão humana. Em geral, a transparência nos processos de IA foi vista como um fator crucial para melhorar a confiabilidade, sendo que a adoção mais ampla dependerá de avanços que permitam aos usuários compreenderem e justificar as decisões tomadas pela tecnologia em suas atividades profissionais.

E QUANTO AO RECEIO DE SUBSTITUIÇÃO?

Os entrevistados demonstraram um misto de preocupação e aceitação em relação ao potencial da Inteligência Artificial (IA) para substituir algumas funções na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Muitos reconhecem que a IA e outras tecnologias emergentes podem automatizar tarefas operacionais e repetitivas, o que pode reduzir a necessidade de certos tipos de trabalho manual. No entanto, a maioria acredita que a IA não substituirá completamente os profissionais, mas sim atuará como uma ferramenta de apoio, complementando as atividades técnicas e analíticas realizadas por especialistas. Profissionais destacaram que a expertise humana, o conhecimento prático e a capacidade de julgamento continuam sendo insubstituíveis, especialmente em tarefas que exigem conformidade com normas, interpretação contextual e tomada de decisões complexas.

Para muitos, o receio de substituição impulsiona a busca por qualificação e especialização, com o objetivo de adaptar-se a um cenário de trabalho onde a IA seja mais integrada. Esse aspecto foi visto como um fator positivo, que incentiva o desenvolvimento de novas competências e fortalece o papel do profissional como operador qualificado da tecnologia. Assim, embora a IA possa substituir algumas atividades, os entrevistados enxergam esse avanço mais como uma oportunidade de evolução profissional do que como uma ameaça direta aos seus empregos.

CONCLUSÃO

Este estudo contribui teoricamente ao aprofundar a análise dos fatores que influenciam a adoção de inteligência artificial (IA) na Indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), alinhando esses achados ao modelo UTAUT (*Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*) [10]. A adaptação do modelo possibilita uma compreensão mais detalhada sobre como variáveis como expectativa de desempenho, esforço, influência social e condições facilitadoras moldam a intenção de adoção de IA no setor AEC, ampliando as aplicações do UTAUT para contextos de tecnologia emergente em setores tradicionalmente conservadores.

Para gestores do setor AEC, os resultados indicam que o sucesso na implementação da IA depende de estratégias que vão além da mera introdução da tecnologia. É crucial criar um ambiente organizacional que promova a confiança e o treinamento contínuo em IA, reduzindo resistências culturais e técnicas. Além disso, incentivos para a adoção, suporte técnico robusto e a transparência nos processos decisórios da IA são essenciais para garantir a confiabilidade dos resultados e engajar profissionais em todos os níveis hierárquicos.

Entre as limitações desta pesquisa, destaca-se a abordagem qualitativa, que limita a generalização dos resultados para o setor AEC como um todo. A amostra foi composta por profissionais de grandes empresas brasileiras, o que pode não representar plenamente a diversidade de práticas e percepções existentes em outras regiões e em empresas de menor porte. Adicionalmente, o foco exclusivo em entrevistas impede uma quantificação direta das tendências identificadas, o que limita uma análise estatística mais robusta dos fatores de adoção.

Sugere-se que pesquisas futuras realizem estudos quantitativos para validar os fatores identificados e medir a força das relações entre variáveis como expectativa de desempenho, esforço percebido e apoio organizacional na adoção de IA no setor AEC. Outra recomendação é explorar como a IA pode integrar-se com outras tecnologias emergentes, como BIM e IoT, para identificar sinergias que possam aumentar ainda mais a produtividade e qualidade nos projetos. Esses estudos podem expandir a compreensão dos impactos organizacionais da IA e fortalecer as bases teóricas para a adoção de tecnologia em indústrias complexas e regulamentadas.

REFERÊNCIAS

[1] BLANCO, J. L. et al. From startup to scale-up: Accelerating growth in construction technology. McKinsey & Company, p. 12, 2023.

[2] OMAR, H.; MAHDJOUBI, L. Practical solutions for improving the suboptimal performance of construction projects using Dubai construction projects as an example. Engineering, Construction and Architectural Management, v. 30, n. 6, p. 2185–2205, 7 jun. 2023.

[3] ADEBOWALE, O. J.; AGUMBA, J. Artificial intelligence technology applications in building construction productivity: a systematic literature review. Acta Structilia, v. 30, n. 2, p. 161–195, 2023.

[4] ABIOYE, S. O. et al. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. Journal of Building Engineering, v. 44, 1 dez. 2021.

[5] ADELOYE, A. O. et al. Applications of Artificial Intelligence (AI) in the construction industry: A review of Observational Studies. Applied Sciences Research Periodicals, v. 1, n. 4, p. 28–38, 2023.

[6] PAN, Y.; ZHANG, L. Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions. Archives of Computational Methods in Engineering. Springer Science and Business Media B.V., , 1 mar. 2023.

[7] LING, F. Y. Y. et al. Impact of Digital Technology Adoption on the Comparative Advantage of Architectural, Engineering, and Construction Firms in Singapore. Journal of Construction Engineering and Management, v. 149, n. 12, dez. 2023.

[8] WANG, K. et al. Investigating the Role of Artificial Intelligence Technologies in the Construction Industry Using a Delphi-ANP-TOPSIS Hibrid. MCDM Concept under a Fuzi Environment. Sustainability (Switzerland), v. 15, n. 15, 1 ago. 2023.

[9] O EMPREITEIRO. Ranking da Engenharia Brasileira 2023. Revista O Empreiteiro, set. 2023.

[10] VENKATESH, V. et al. User Acceptance of Information Technology: Towards a Unified View. MIS Quarterly, v. 27, n. 3, p. 425–478, 2003.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Projeto estrutural de um edifício multifamiliar em concreto armado em BIM: um estudo de caso

Structural design of a multi-family reinforced concrete building in BIM: a case study

Karini Nunes de Oliveira | Universidade Federal de Viçosa | Karini.nunesdeoliveira@gmail.com
Kleos Magalhaes Lenz Cesar Junior | Universidade Federal de Viçosa | kleos@ufv.br
Diôgo Silva de Oliveira | Universidade Federal de Viçosa| Diogooliveira@ufv.br
José Maria Franco de Carvalho | Universidade Federal de Viçosa | Josemaria.carvalho@ufv.br

DOI: 10.5281/zenodo.14478788

Resumo

Com o avanço da especialização no setor AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação), a fragmentação entre disciplinas tornou-se um desafio, levando a incompatibilidades, retrabalhos e erros de execução. Embora as tecnologias de *Computer-Aided Design* (CAD) tenham trazido melhorias, foi com a introdução do *Building Information Modeling* (BIM) que se alcançaram avanços significativos na integração entre os agentes envolvidos em um projeto. O BIM emergiu como uma solução promissora, oferecendo um processo ágil e integrado, proporcionando aumento da qualidade, redução de custos e prazos, além de viabilizar a interoperabilidade entre diferentes softwares. Embora existam desafios, o BIM está se desenvolvendo rapidamente no Brasil. O Decreto Federal nº 10.306/2020 estabeleceu a obrigatoriedade do uso do BIM em projetos de obras públicas a partir de 2028. Em 2018, 9,2% das empresas privadas da construção já utilizavam BIM em suas rotinas, representando 5% do PIB da Construção Civil. A disseminação do BIM ocorre em paralelo ao seu aprimoramento. Apesar dos esforços da *buildingSMART* para tornar o *Industry Foundation Classes* (IFC) mais abrangente, ainda há perda de informações durante a transferência de dados. Isso reforça a necessidade de estudos como o deste artigo, que explora o fluxo de trabalho BIM, apontando suas limitações. Realizou-se uma revisão bibliográfica sobre o projeto estrutural em concreto armado, o desenvolvimento das tecnologias da informação no projeto e o panorama do BIM no Brasil. Em seguida, propôs-se um fluxo de trabalho BIM, aplicando-o ao desenvolvimento de um projeto estrutural em concreto armado de um edifício multifamiliar, com o objetivo de estudar o desempenho e a integração dos softwares Revit, SCIA Engineer e Allplan. O projeto arquitetônico foi disponibilizado no Revit e transferido via IFC para o SCIA, onde foram realizados a modelagem e o dimensionamento estrutural, de acordo com as normas ABNT NBR 6118:2023, 6120:2019 e 6123:2023. A estrutura foi analisada globalmente e alguns elementos foram dimensionados. Posteriormente, os elementos estruturais foram exportados para o Allplan, onde foram detalhados, e as plantas de formas, geradas. Como resultado, foi apresentado o projeto estrutural, acompanhado do detalhamento das armaduras em trechos selecionados. Concluiu-se que o principal benefício da utilização do BIM foi a viabilização do uso de múltiplos softwares especializados sem comprometer a integridade do fluxo de trabalho, uma vez que nenhum dos softwares, isoladamente, seria capaz de atender completamente a todas as etapas e demandas do projeto. O desempenho de cada ferramenta na sua especialidade foi satisfatório: o SCIA mostrou-se uma plataforma

robusta para modelagem e dimensionamento estrutural, enquanto o Allplan se destacou no detalhamento executivo das estruturas. Embora a metodologia BIM tenha facilitado a integração entre os programas, eliminando a necessidade de remodelar elementos arquitetônicos e estruturais, algumas dificuldades foram identificadas, como pequenas inconsistências na semântica de elementos importados. No entanto, o formato IFC mostrou-se eficaz, uma vez que os erros de semântica apontados ocorreram apenas em casos isolados. Além disso, o uso do BIM melhorou significativamente a compatibilização entre os projetos arquitetônico e estrutural, ao possibilitar a visualização tridimensional simultânea de ambos. Por fim, os resultados deste trabalho ressaltam a importância da capacitação profissional adequada para o uso eficaz do BIM e identificam áreas de melhoria na integração automatizada de dados entre os softwares.

Palavras-chave: BIM. Projeto estrutural. Interoperabilidade. SCIA. Allplan.

Abstract

With the advancement of specialization in the AECO sector (Architecture, Engineering, Construction, and Operations), fragmentation between disciplines has become a challenge, leading to incompatibilities, rework, and execution errors. While Computer-Aided Design (CAD) technologies brought improvements, the introduction of Building Information Modeling (BIM) achieved significant advances in integrating all project stakeholders. BIM has emerged as a promising solution, offering an agile and integrated process that improves quality, reduces costs and timelines, and enables interoperability between different software systems. Although challenges remain, BIM is rapidly developing in Brazil. Federal Decree No. 10.306/2020 mandates the use of BIM in public works starting in 2028, establishing a gradual implementation timeline. By 2018, 9.2% of private construction companies were already using BIM in their routines, representing 5% of Brazil's construction GDP. The spread of BIM is occurring alongside its ongoing improvement. Despite efforts from buildingSMART to make the Industry Foundation Classes (IFC) more inclusive, data loss still occurs during transfers, highlighting the need for studies like this one, which explore BIM workflows and point out their limitations. A literature review was conducted on structural design in reinforced concrete, the development of information technologies in design, and the BIM landscape in Brazil. Subsequently, a BIM workflow was proposed and applied to the structural design of a multifamily building in reinforced concrete, aiming to study the performance and integration of Revit, SCIA Engineer, and Allplan software. The architectural design was provided in Revit and transferred via IFC to SCIA, where the structural modeling and analysis were carried out according to ABNT NBR 6118:2023, 6120:2019, and 6123:2023 standards. The structure was globally analyzed, and some elements were sized. The structure was analyzed globally, and some elements were sized. Later, the structural elements were exported to Allplan, where formwork plans and reinforcement detailing were generated. As a result, the structural design was presented along with reinforcement detailing for selected sections. It was concluded that the main benefit of using BIM was enabling the use of multiple specialized software without compromising workflow integrity, as no single software alone could fully meet all project stages and demands. Each tool performed well in its specialty: SCIA proved to be robust for structural modeling and analysis, while Allplan excelled in the detailed structural design. Although the BIM methodology facilitated integration between programs, eliminating the need to remodel architectural and structural elements, some challenges, such as minor inconsistencies in the semantics of imported elements, were identified. Nevertheless, the IFC format was effective, with semantic errors occurring only in isolated cases. Additionally, BIM significantly improved the compatibility between architectural and structural designs by allowing simultaneous 3D visualization of both. Finally, the results emphasize the importance of proper professional training for effective BIM use and identify areas for improvement in automated data integration between software systems.

Keywords: BIM. Structural design. Interoperability. SCIA. Allplan.

INTRODUÇÃO

O setor Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) é crucial para a economia global, demandando aprimoramento contínuo, uso econômico de recursos e técnicas modernas para garantir segurança, funcionalidade e durabilidade, em conformidade com as normas [1]. Na construção, a competitividade depende da otimização estrutural, uma vez que a estrutura pode representar de 20 a 30% do custo total de uma obra [2]. Segundo Nascimento, o projeto é a espinha dorsal da construção civil e deve ser elaborado com rigor para assegurar sua racionalização [3].

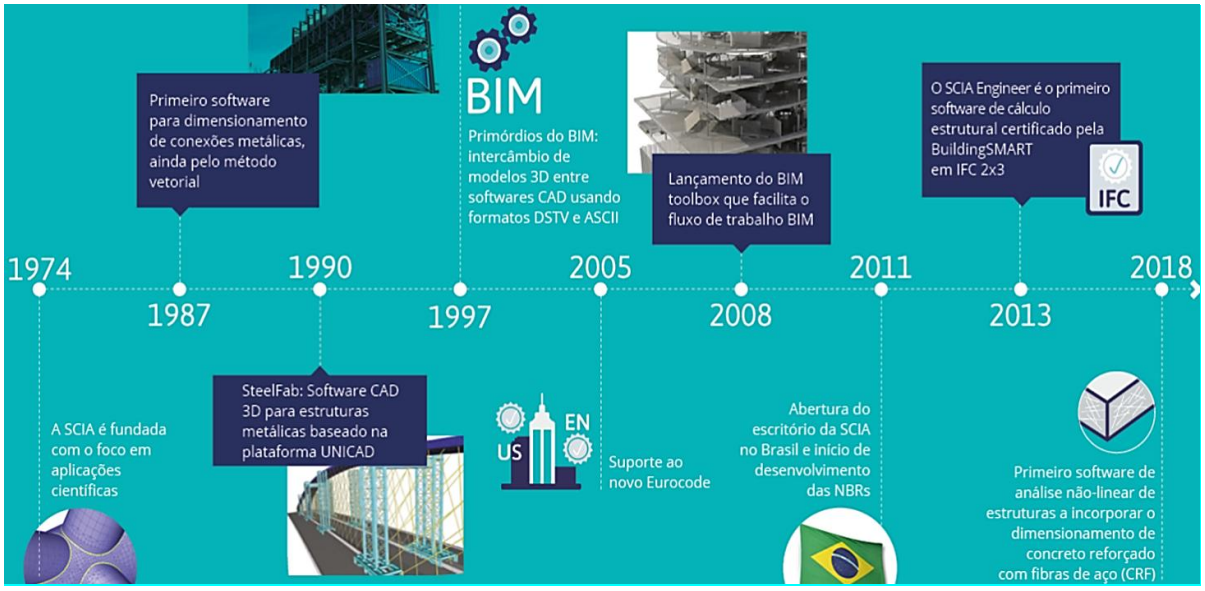
É essencial integrar habilidades e conhecimentos de diversos profissionais, promovendo soluções criativas para os desafios enfrentados [4]. Até meados do século XX, engenheiros e arquitetos possuíam conhecimentos generalistas, mas mudanças socioeconômicas e crescente demanda imobiliária evidenciaram que a especialização aumentaria a produtividade [5].

Embora a segmentação tenha aprofundado o conhecimento técnico, ela trouxe dificuldades de comunicação e integração entre projetistas. A revolução tecnológica, então, tornou-se aliada na promoção de colaboração e na redução de erros em projetos e execução [6].

A partir de 1960, o uso de pranchetas foi substituído por tecnologias computacionais Computer Aided Design (CAD), que passou por três fases principais: a década de 60 introduziu a automação com criação de objetos simples; na década de 70, incorporou-se bibliotecas de elementos paramétricos e visualizações 3D; e, nos anos 80, teve início a integração de dados geométricos e não geométricos [7].

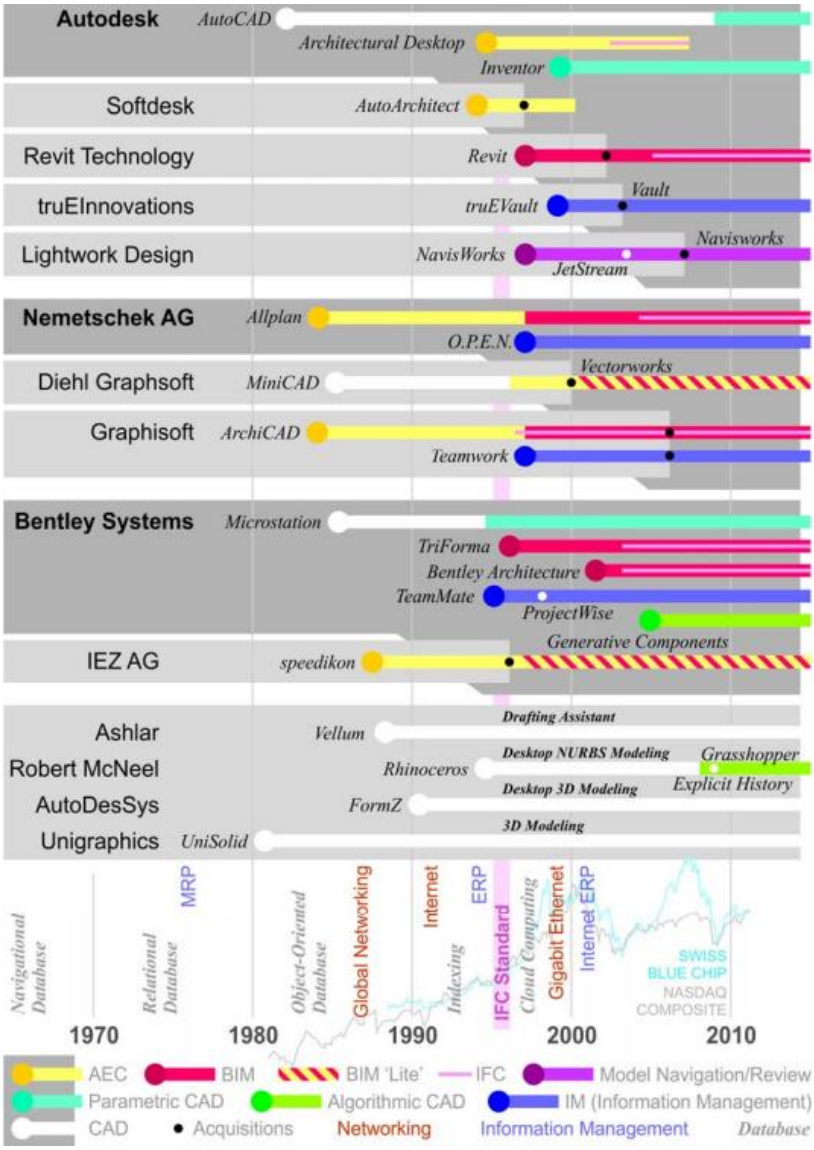
Nos anos 90, diversos softwares CAD tornaram-se paramétricos e evoluíram para o conceito BIM, enquanto outras empresas lançaram ferramentas nativamente integradas ao BIM. A partir dos anos 2000, os avanços tecnológicos se concentraram em melhorias incrementais [8]. A Figura 1 apresenta o desenvolvimento do SCIA [9]; a Figura 2, a linha do tempo das tecnologias de softwares [8].

Figura 1: Linha do tempo SCIA.



Fonte: Couto, 2020.

Figura 2: Cronologia das tecnologias de softwares.



Fonte: Wierzbicki (2011).

O BIM surge como uma solução integradora, permitindo que profissionais trabalhem em sistemas interoperáveis, facilitando a análise automatizada de interferências. Aplicado em cada etapa do processo, o BIM assegura dados confiáveis e oferece visualização e compreensão detalhada, reunindo informações essenciais para cada fase do projeto [6].

Segundo Eastman, a Mortenson Company define o BIM como uma "simulação inteligente da arquitetura," destacando características essenciais para que um software seja considerado BIM: ser digital e espacial (mínimo 3D), mensurável, abrangente (relacionando desempenho com aspectos construtivos e financeiros) e acessível a toda equipe e ao proprietário [10]. A Figura 3 apresenta alguns softwares considerados BIM, por suas respectivas empresas.

Figura 3: Softwares BIM.

Disciplinas	Fabricante	Ferramenta BIM
Aquitetura	Autodesk	Revit
	ACCA	Edificius
	Blender	BlenderBIM
	Graphisoft	ArchiCAD
	Gehry	Digital Project
	Nemetschek	Allplan
	VectorWorks	Vectorworks Architect
Estrutura	Autodesk	Revit
	Autodesk	Robot Structural Analysis
	ACCA	Edilus
	AltoQi	Eberick
	Nemetchek	SCIA
	TQS	TQS
	Trimble	Tekla Structures
Gerenciamento de projetos	Autodesk	Navisworks
	ACCA	Clash Detection BIM
	ACCA	BIM Management System
	Bexel	Bexel Manager
	Graphisoft	BIMx
	Nemetschek	Solibri
Orçamentação	ACCA	PriMus IFC
	AltoQi	AltoQi Visus
Infraestrutura	Autodesk	InfraWorks

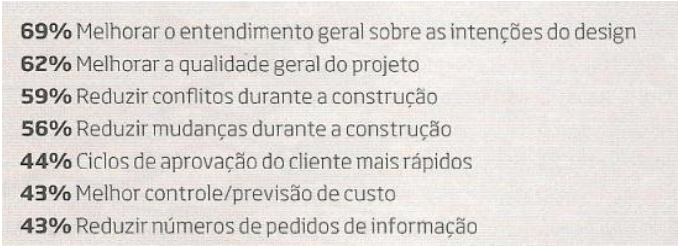
Fonte: Autora.

A maior vantagem do BIM no contexto da construção civil é a integração entre os agentes do projeto [11]. A diversidade de softwares BIM decorre da inviabilidade de um único aplicativo resolver todas as demandas ao longo da vida útil de um edifício. Assim, metodologias para intercâmbio de informações são essenciais, assegurando a integridade semântica dos objetos e a precisão das informações [12].

Entre os formatos de arquivo, destaca-se o *Industry Foundation Classes* (IFC), uma linguagem comum para troca de informações entre agentes. Embora tenha potencial para ser uma norma de aceitação universal, o IFC ainda enfrenta limitações, como restrições em geometrias complexas, exigindo mais estudos para aprimorar seu nível de detalhamento [13].

A parametrização é outra característica crucial do BIM, permitindo que os elementos sejam mais que representações gráficas, hospedando dados essenciais para análise de interferências, detalhamento e compatibilização [6]. Um estudo da McGraw-Hill Construction identifica os benefícios do BIM, como ilustrado na Figura 4 [14].

Figura 4: Benefícios da utilização do BIM.

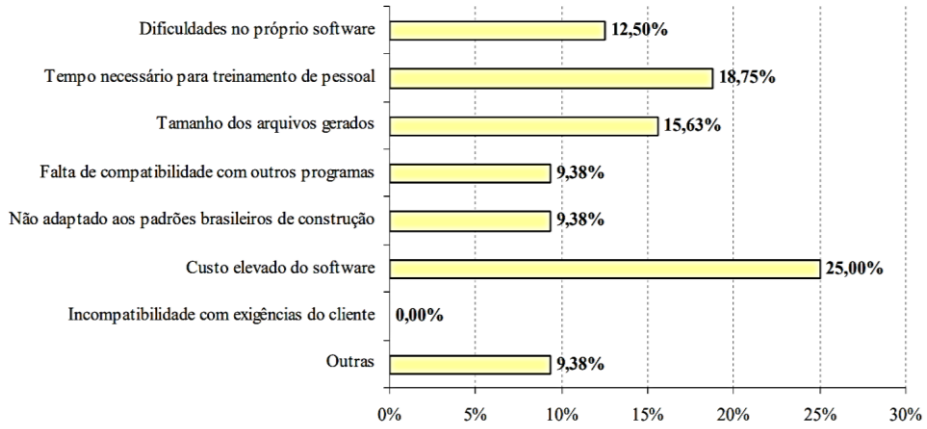


Fonte: Revista AU (2011, apud SILVEIRA, 2013)

Casos na literatura confirmam essas vantagens; por exemplo, o Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões utilizou o BIM para integrar informações entre arquiteto, projetista estrutural e o proprietário. O projeto enfrentou desafios pela complexidade das formas arquitetônicas, exigindo cuidados na modelagem estrutural no Revit e lidando com limitações de transferência de dados para o software Autodesk Robot. Mesmo com essas limitações, o BIM foi essencial para soluções visuais, cálculo estrutural e levantamento de quantitativos [13].

A adoção do BIM no Brasil enfrenta barreiras significativas. A transição do CAD para o BIM exige mais do que a aquisição de licenças, equipamentos modernos e treinamento. Para consolidar seu uso, são necessárias mudanças estruturais nos negócios, compreensão aprofundada e um plano de implementação [10]. Outro desafio é a interoperabilidade em desenvolvimento, que resulta em perdas de dados durante a conversão de arquivos [5]. Uma pesquisa realizada por Souza identificou os principais obstáculos identificados por empresas brasileiras, conforme Figura 5 [15].

Figura 5: Barreiras encontradas para adoção do BIM.



Fonte: Souza (2009).

Apesar dos desafios, o BIM apresenta sinais de evolução no Brasil. Em 2018, um estudo da Fundação Getúlio Vargas revelou que 9,2% das empresas do setor já utilizavam BIM, representando 5% do PIB da construção civil [16]. Em 2018, o Decreto nº 9.377 lançou a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM (BIM-BR) [17].

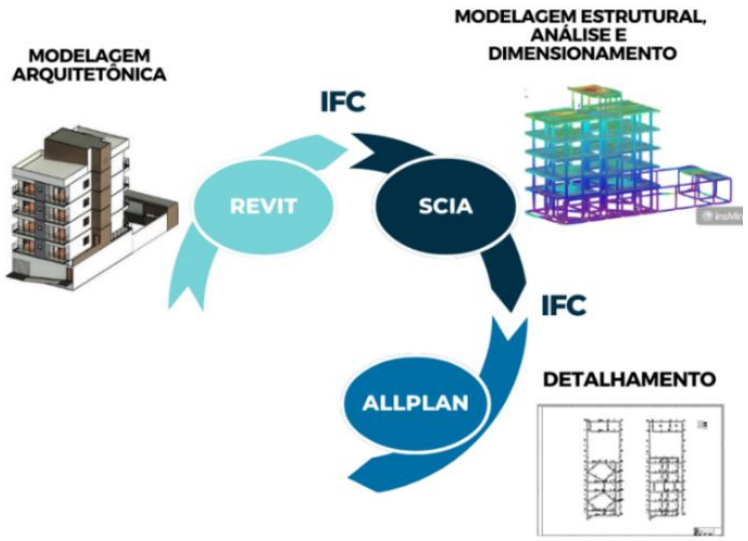
Em 2020, o Decreto nº 10.306 estabeleceu o uso obrigatório do BIM em obras públicas federais [18]. Fabricantes e fornecedores também têm colaborado, oferecendo catálogos em formato neutro. No Brasil, a Deca e a Tigre destacam-se por fornecimento de bibliotecas [5].

Embora a implementação do BIM seja gradual, avanços significativos são visíveis no setor. Internacionalmente, a tecnologia se consolida na indústria AEC, aumentando a produtividade e a qualidade dos projetos [19]. Para um uso eficaz, é essencial que engenheiros conheçam as opções de modelagem, com suas vantagens e limitações [20].

ESTUDO DE CASO

O fluxo de trabalho proposto nesse trabalho é ilustrado na Figura 6.

Figura 6: Fluxo de trabalho

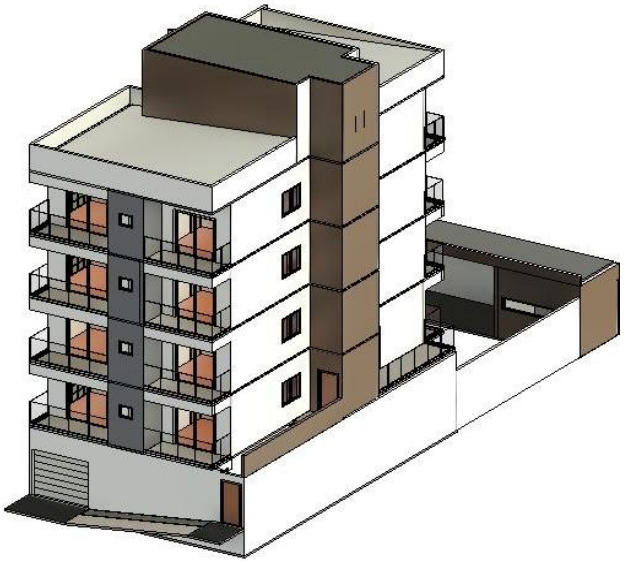


Fonte: Autora.

MODELAGEM ARQUITETONICA

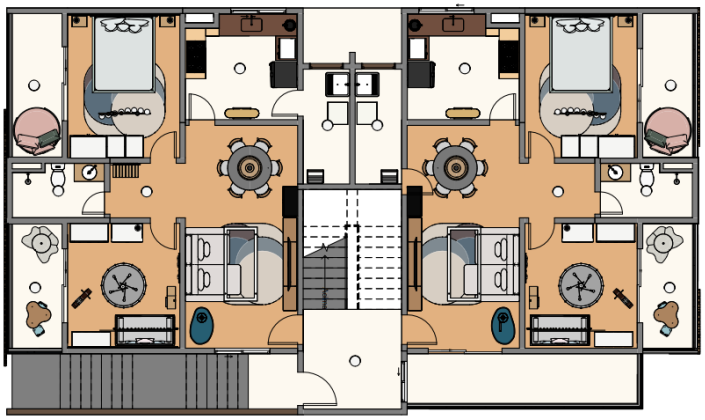
O projeto arquitetônico disponibilizado, ilustrado nas Figuras 7 e 8, foi modelado pelos alunos da disciplina CIV480 (Modelagem da Informação), oferecida aos estudantes do curso de engenharia civil e arquitetura, e ministrada no semestre 23/2 na Universidade Federal de Viçosa. Foi utilizado o Autodesk Revit como software modelador do sistema arquitetônico.

Figura 7: Modelo 3D.



Fonte: Estudantes de CIV480.

Figura 8: Planta baixa primeiro pavimento.

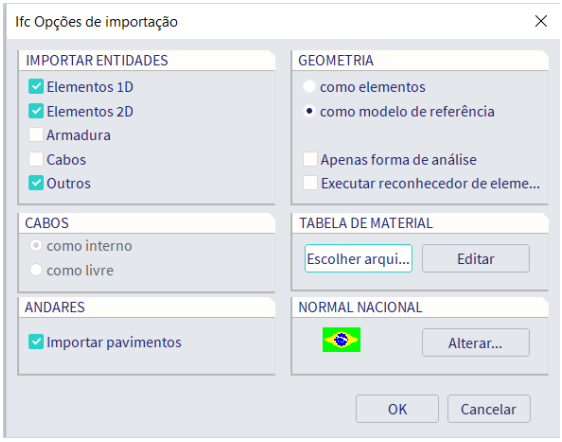


Fonte: Estudantes de CIV480.

IMPORTAÇÃO REVIT PARA SCIA

Optou-se pela transferência do modelo arquitetônico no padrão IFC2x3 como "modelo de referência", pois não havia elementos arquitetônicos com função estrutural, conforme Figura 9.

Figura 9: Importação da arquitetura.



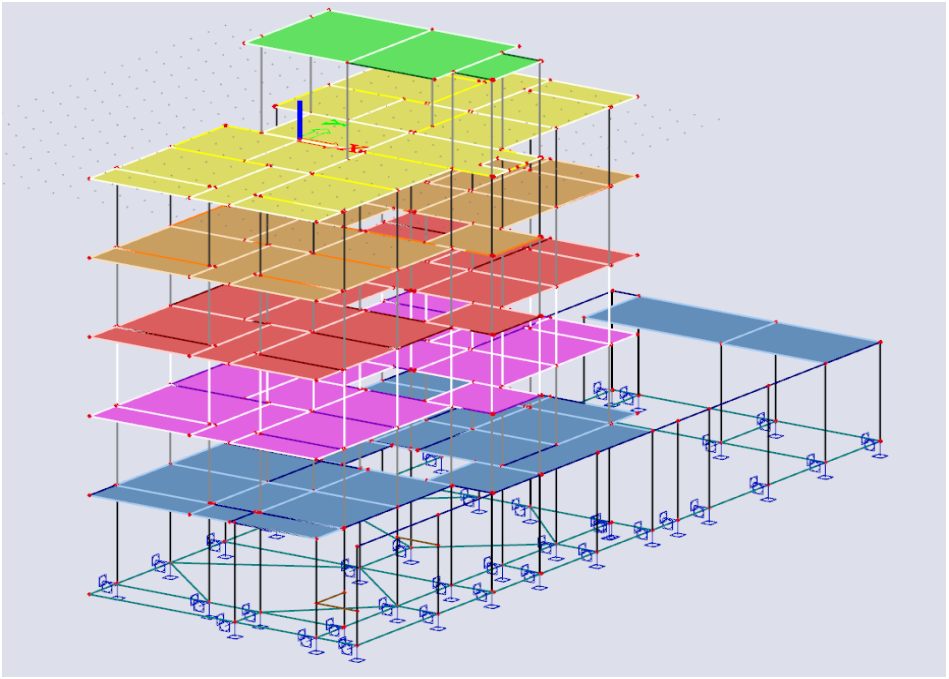
Fonte: Autora.

Um pré-dimensionamento estrutural no Revit foi exportado para o SCIA para testes, mas o modelo analítico apresentou inconsistências que não puderam ser corrigidas pelo recurso “Caixas de Ferramentas BIM” do SCIA. Isso evidenciou a inadequação dos elementos para conversão analítica, reforçando a escolha de modelar a estrutura diretamente no SCIA.

MODELAGEM ESTRUTURAL

A modelagem estrutural (Figura 10) foi iniciada com a adição de pilares e vigas de seção 15x40 cm e lajes com 12 cm de espessura, visando evitar quinas para preservar o espaço útil e a estética dos ambientes. Os principais desafios incluíram o desalinhamento contínuo das escadas e da caixa d’água, dificultando a criação de um núcleo rígido para estabilidade, e a posição dos pilares no térreo, que demandou um layout com mínimas obstruções para facilitar a manobra no estacionamento. Como solução, foram adotados pilares com dimensões maiores e vigas de transição no teto da garagem e do último pavimento.

Figura 10: Modelagem estrutural, modelo analítico.



Fonte: Autora.

O edifício está situado em uma zona de classe de agressividade ambiental moderada. A seleção dos materiais estruturais seguiu as recomendações normativas, optando pelo concreto C30, que oferece uma boa relação entre resistência e durabilidade, e pela armadura CA-50, comumente utilizada no mercado.

Com essas definições, o SCIA foi configurado para adequar outros parâmetros de projeto de acordo com a NBR 6118:2014 [21].

Admitiu-se que todos os pilares estavam engastados na base, pois o dimensionamento das fundações, embora possíveis em todos os softwares utilizados, não foi incluída no escopo do trabalho.

As ligações monolíticas entre pilares e vigas foram consideradas como engastamentos perfeitos, sem redução dos momentos devido a fissuração do concreto ou deslizamento das armaduras.

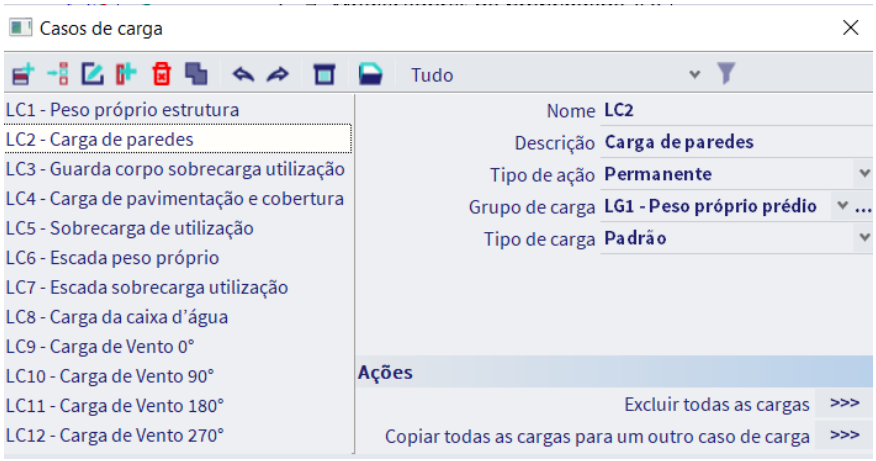
Essa abordagem foi adotada com base na análise de que as ligações seriam suficientemente rígidas, resultando em uma modelagem próxima da realidade e simplificando o lançamento dos elementos. Analisou-se que essas reduções nas ligações entre vigas seriam mais significativas e foram consideradas utilizando a rigidez secante ao momento fletor, conforme a NBR 9062:2017 [22]

Adicionalmente, de acordo com a NBR 6118:2023 [23], o projeto considerou a não linearidade física e uma redução de 15% da rigidez elástica original das vigas em grelhas e pórticos espaciais.

CARREGAMENTOS E COMBINAÇÃO DE AÇÕES

Casos e grupos de carga foram criados para todas as cargas do projeto, conforme Figura 11. Os carregamentos receberam parâmetros de descrição.

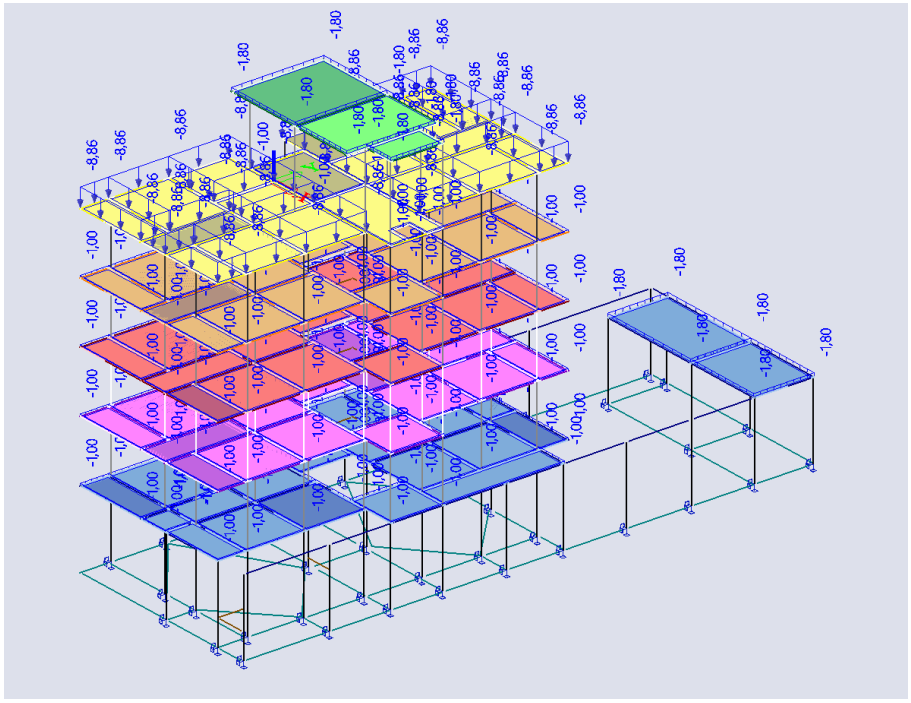
Figura 11: Carga de paredes.



Fonte: Autora.

O peso próprio dos elementos estruturais é adicionado automaticamente, enquanto os demais carregamentos foram calculados de acordo com a NBR 6120:2019 [24] e auxílio de catálogos de fabricantes. As cargas consideradas incluíram o peso próprio das paredes, guarda-corpos, escadas, pavimentação, cobertura, caixa d'água, além das sobrecargas de utilização. Também foram levadas em conta as ações do vento, conforme a NBR 6123:2023 [25]. O lançamento das cargas é ilustrado na Figura 12.

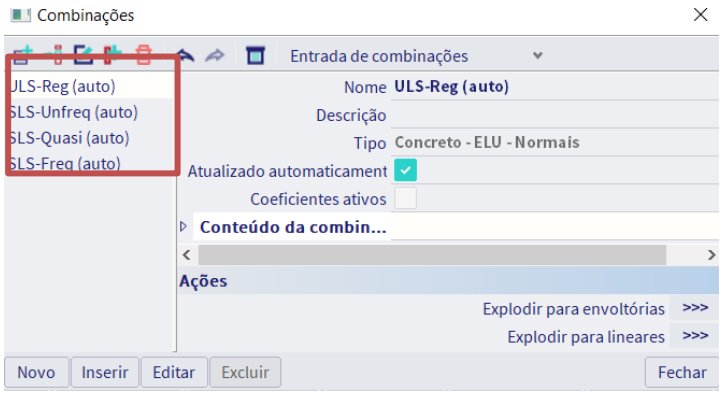
Figura 12: Lançamento das cargas de pavimentação.



Fonte: Autora.

Com todas as cargas configuradas, as combinações foram geradas automaticamente, como mostra a Figura 13.

Figura 13: Combinações de ações no SCIA.

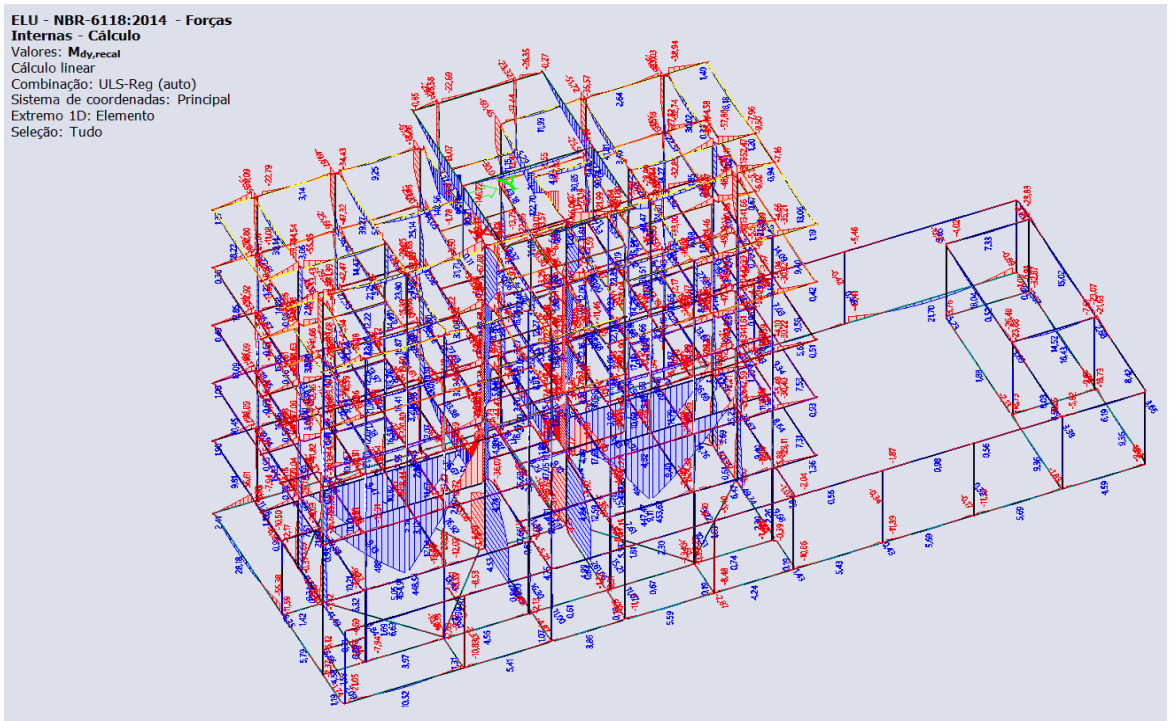


Fonte: Autora.

ANÁLISES E DIMENSIONAMENTO

Foram gerados resultados de esforços normais, cortantes e momentos nos elementos, conforme o exemplo na Figura 14. Os maiores esforços se concentraram nas vigas de transição e nos pilares que as suportam, destacando a criticidade desses elementos. Pilares com conexões excêntricas também mostraram esforços adicionais.

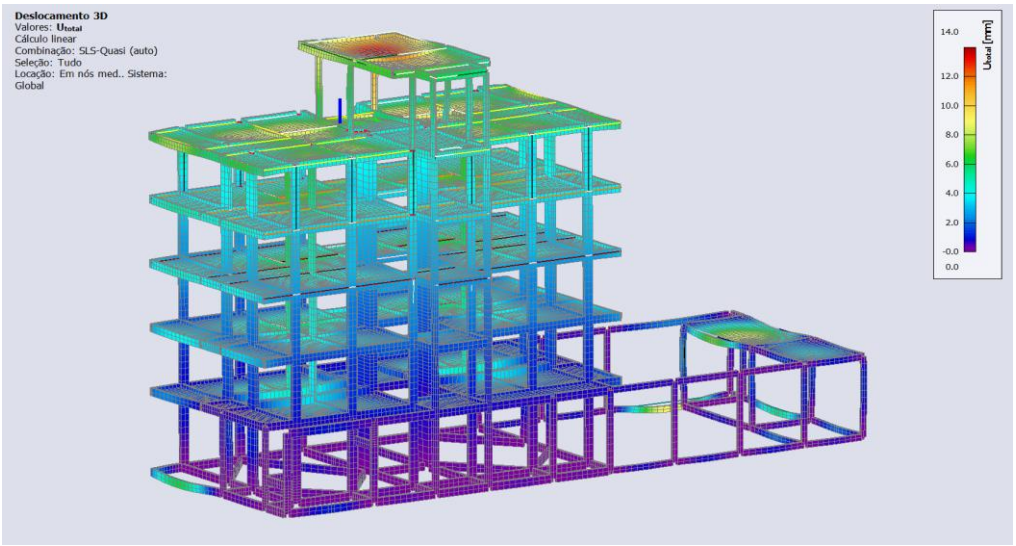
Figura 14: Momento fletor, direção Y.



Fonte: Autora.

As deformações 3D foram úteis para a otimização da estrutura. Conforme mostrado na Figura 15, as deformações gerais foram pequenas, exceto na laje de forro e nos pilares da caixa d'água, que apresentaram maiores deformações devido ao apoio em vigas de transição.

Figura 15: Deformações 3D.



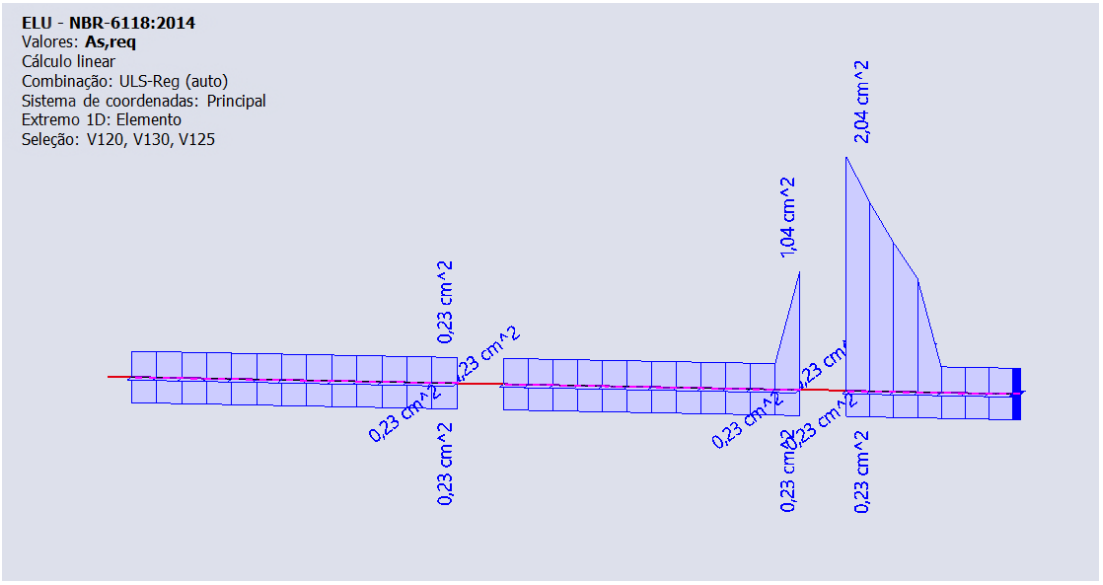
Fonte: Autora.

A análise de segunda ordem foi conduzida por meio da avaliação dos deslocamentos nodais dos pilares nas direções x e y. Observou-se que os deslocamentos, ao incluir os efeitos de segunda ordem, aumentaram menos de 10% em relação aos do cálculo linear. Conforme a NBR 6118:2023 [23], esse incremento permite considerar a estrutura com nós fixos, desconsiderando os efeitos de segunda ordem.

Em seguida, foram selecionados uma viga, um pilar e três lajes para dimensionamentos completos.

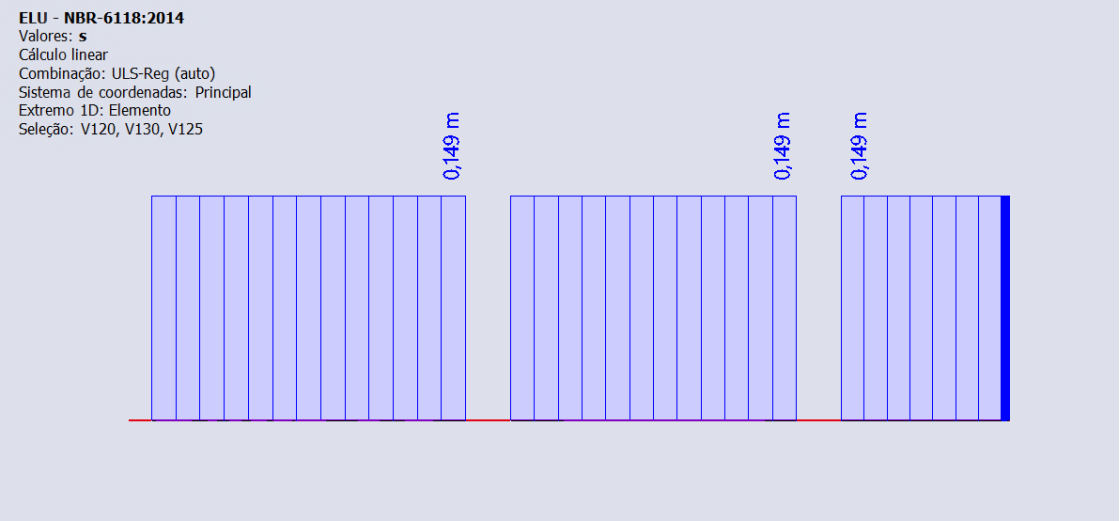
As áreas necessárias para armaduras da viga foram obtidas pelo gráfico da Figura 6, que mostra a área de armadura longitudinal necessária, e pela Figura 17, que indica a distância entre estribos, em metros, considerando barras de 5 mm de diâmetro. Os gráficos podem ser configurados para exibir a armadura mínima, adotada quando superior à armadura necessária.

Figura 16: Armadura longitudinal da viga.



Fonte: Autora.

Figura 17: Armadura transversal da viga.



Fonte: Autora.

Para o pilar, optou-se pelos resultados em tabela, como mostrado na Figura 18.

Figura 18: Armadura transversal do pilar.

ELU - NBR-6118:2014

Valores: **As,req**
Cálculo linear
Combinação: ULS-Reg (auto)
Sistema de coordenadas: Principal
Extremo 1D: Global
Seleção: P417

Versão estudar

Cálculo longitudinal

Nome	dx [m]	Caso	A_{s_req} [cm²]	A_{sz_req+} [cm²]	A_{sz_req-} [cm²]	A_{sy_req+} [cm²]	A_{sy_req-} [cm²]	$A_{s,min}$ [cm²]	nBars	ϕ_l [mm]	$A_{s,pele}$ [cm²]
P417	2,880	ULS-Reg (auto)/1	**8,16**	**3,57**	**3,57**	0,51	0,51	**3,20**	**6**	**16,0**	**0,00**
P417	0,320	ULS-Reg (auto)/2	3,20	0,80	0,80	**0,80**	**0,80**	3,20	0	16,0	0,00

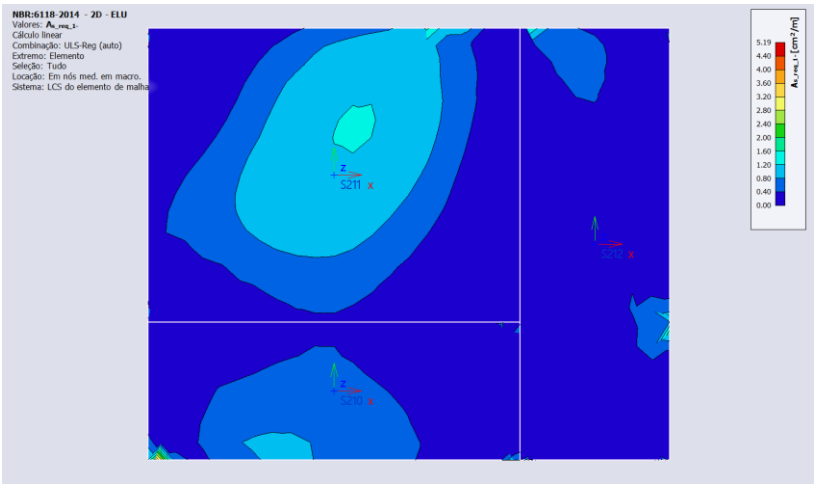
Cálculo do cisalhamento e torção

Nome	dx [m]	Caso	A_{sw}/s [cm²/m]	ϕ_ω [mm]	s [m]	A_{90}/s [cm²/m]	A_{slt} [cm²]	$A_{s,t}$ [cm²]	A_{wt}/s [cm²/m]
P417	2,880	ULS-Reg (auto)/3	**4,63**	**5,0**	**0,056**	**4,63**	**0,85**	**8,62**	**6,95**
P417	0,000	ULS-Reg (auto)/1	4,63	5,0	0,085	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**

Fonte: Autora.

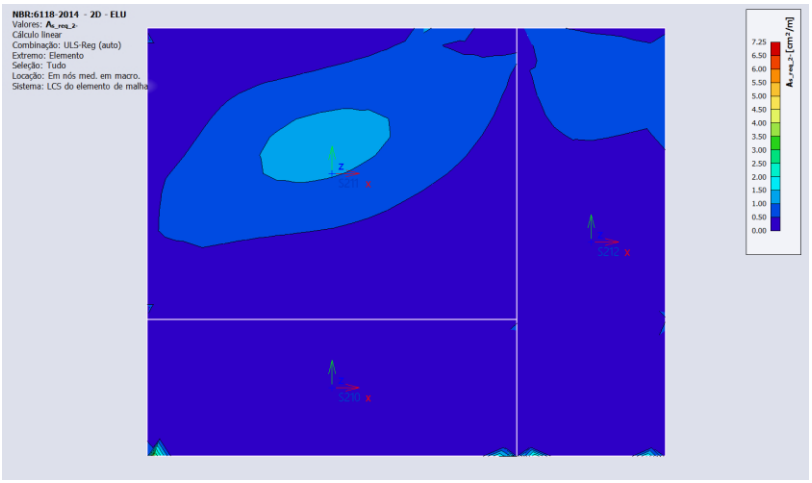
Para as lajes, foram utilizados gráficos de cores para representar as áreas de aço necessárias, conforme mostrado nas Figuras 19, 20,21 e 22.

Figura 19: Armadura positiva das lajes, eixo X.



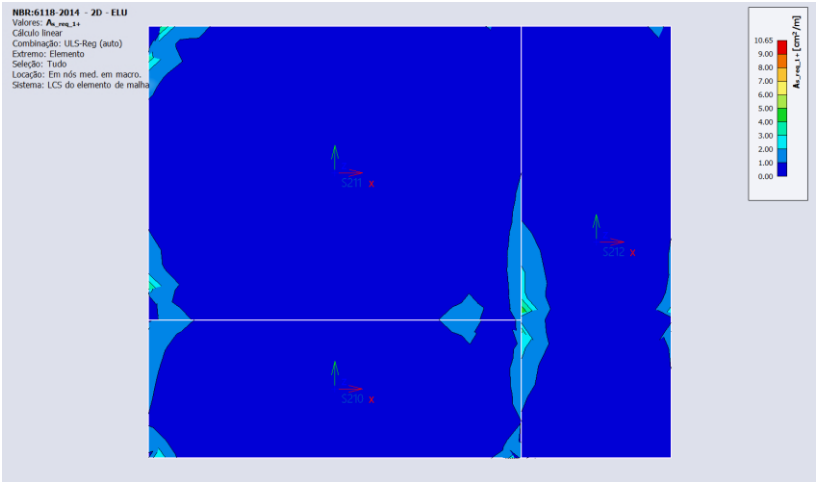
Fonte: Autora.

Figura 20: Armadura positiva das lajes, eixo Y.



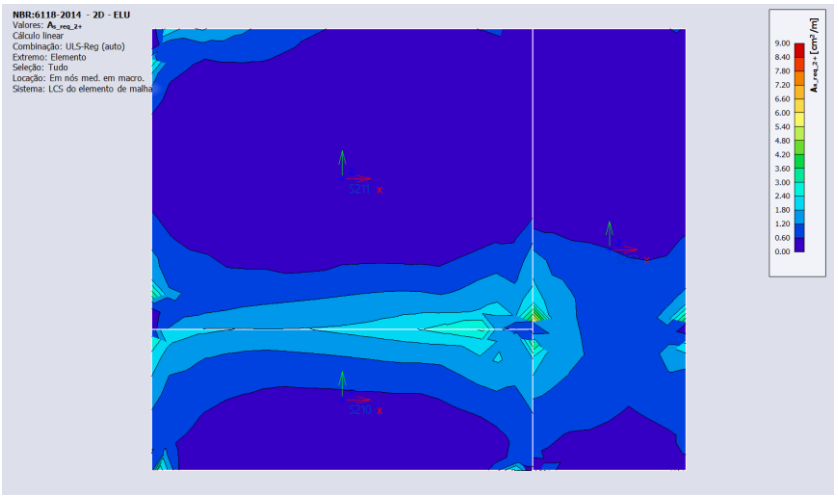
Fonte: Autora.

Figura 21: Armadura negativa das lajes, eixo X.



Fonte: Autora.

Figura 22: Armadura negativa, eixo Y.



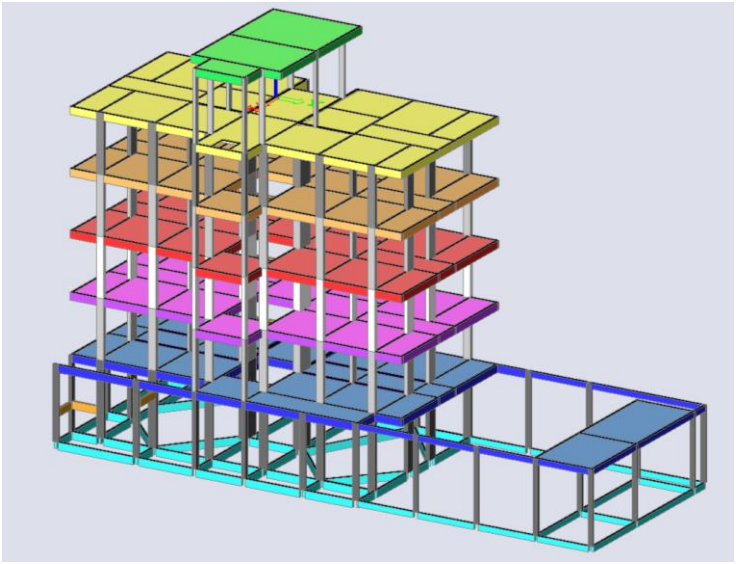
Fonte: Autora.

Embora o SCIA não seja direcionado para o lançamento executivo de armaduras, permite a inserção de armaduras esquemáticas, possibilitando a verificação dos estados-limite último (ELU) e de serviço (ELS). Assim, as armaduras esquemáticas foram adicionadas nas seções dimensionadas, e todas as peças atenderam aos requisitos de verificação.

TRANSFERÊNCIA SCIA PARA ALLPLAN

Após o dimensionamento e os ajustes necessários nas seções, o modelo estrutural foi gerado a partir do modelo analítico, conforme a Figura 23. Detalhes como o posicionamento das lajes em relação às vigas foram ajustados.

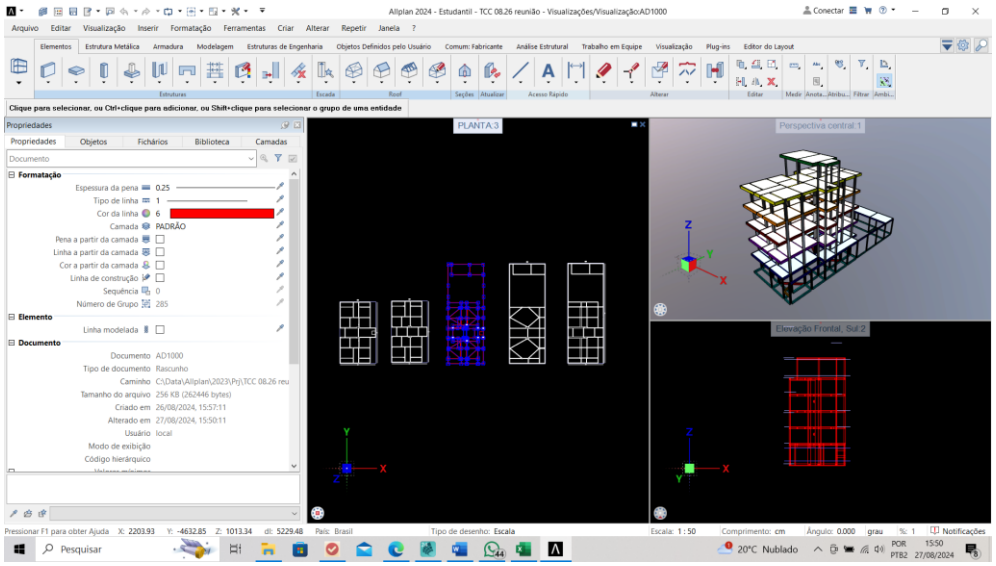
Figura 23: Modelo estrutural, no SCIA.



Fonte: Autora.

O arquivo IFC foi gerado e importado no Allplan, conforme mostrado na Figura 24. Ressalta-se que as armaduras esquemáticas não foram importadas.

Figura 24: Edifício importado para AllPlan.

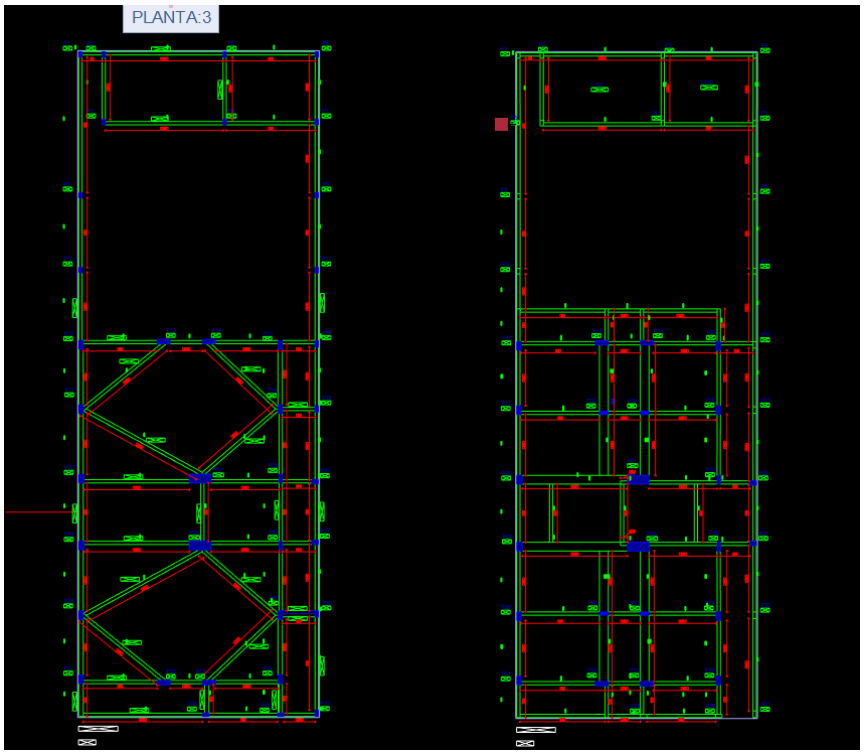


Fonte: Autora.

DETALHAMENTO E CONFECÇÃO DAS PRANCHAS

A partir da modelagem estrutural importada, foram realizados ajustes nos desenhos no Allplan, incluindo a adição de cotas, a nomeação dos elementos, a aplicação de hachuras e ajustes na escala. Conforme exemplificado na Figura 25, foram geradas as plantas de formas de todos os pavimentos.

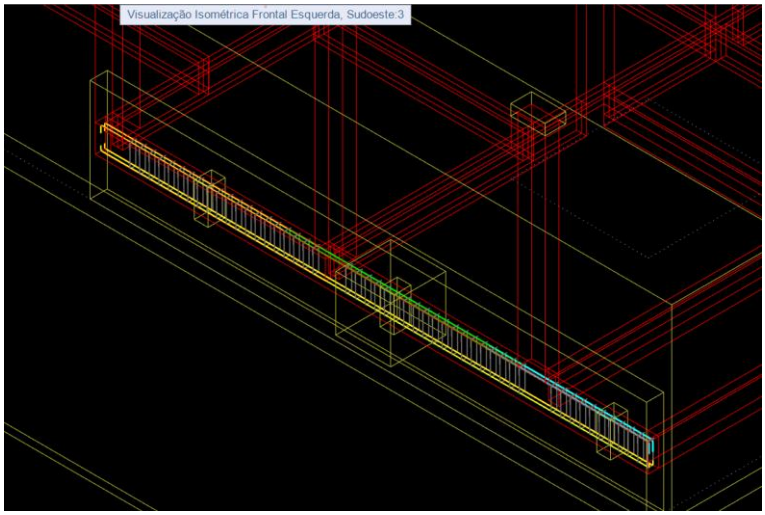
Figura 25: Ajustes nas plantas de formas.



Fonte: Autora.

Para os elementos dimensionados, as armaduras foram detalhadas com foco na execução, conforme mostrado na Figura 26.

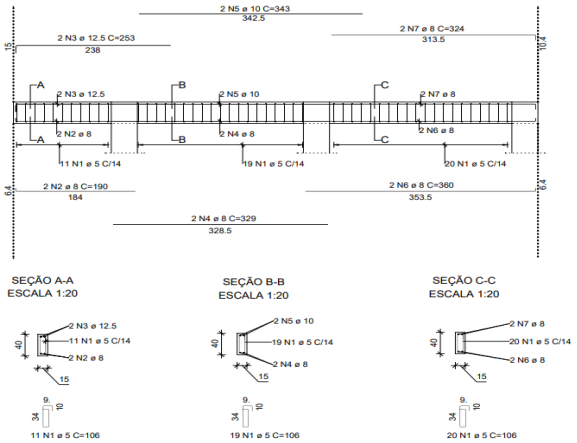
Figura 26: Adição das armaduras no Allplan.



Fonte: Autora.

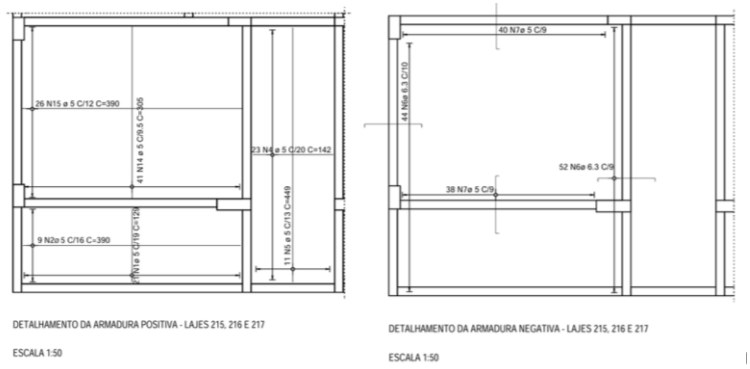
Os desenhos de detalhamento foram organizados, cotados e anotados, com as pranchas geradas conforme as Figuras 27, 28 e 29.

Figura 27: Detalhamento viga.



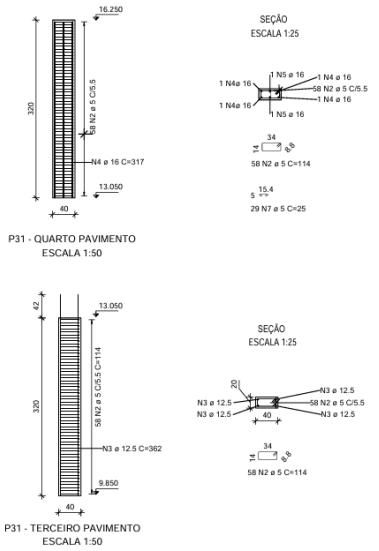
Fonte: Autora.

Figura 28: Detalhamento Lajes.



Fonte: Autora.

Figura 29: Detalhamento pilar.



Fonte: Autora.

RESULTADOS

O principal resultado deste trabalho foi a validação de um fluxo de trabalho integrado para o desenvolvimento de um projeto estrutural em concreto armado, utilizando os softwares Revit, SCIA e Allplan. O projeto foi desenvolvido com base em uma análise global do comportamento estrutural, atendendo plenamente às normas de segurança NBR 6118:2023 [23], 6120:2019 [24] e 6123:2023 [25].

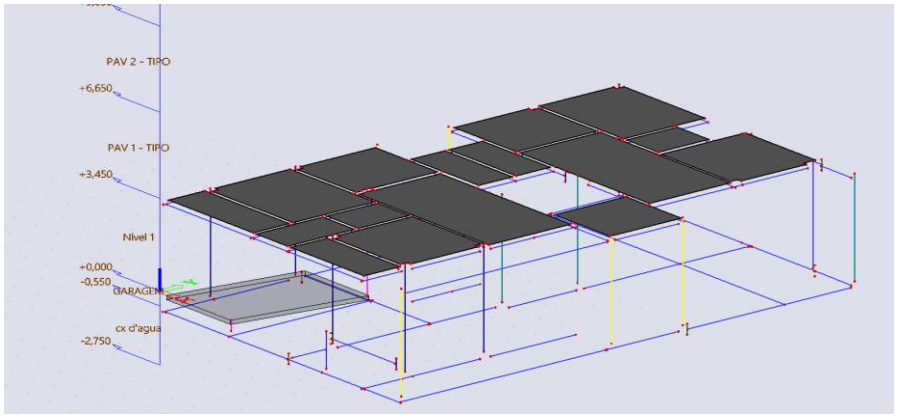
No SCIA, foram gerados relatórios de cálculo para uma viga, um pilar e três lajes, detalhando as quantidades de aço e concreto necessárias, além das verificações de ELS e ELU. A ferramenta demonstrou-se eficaz e robusta para modelagem e dimensionamento estrutural, oferecendo resultados abrangentes sobre esforços, deslocamentos e deformações, o que facilitou a identificação de possíveis soluções construtivas.

As plantas de formas e detalhamentos das armaduras foram elaboradas no Allplan para os mesmos elementos dimensionados, e o uso de ferramentas paramétricas automatizadas otimizou o processo de lançamento das armaduras, eliminando a necessidade de modelagem manual. O software também permitiu uma visualização 3D da estrutura, facilitando sua compreensão global.

A transferência de dados via IFC entre os softwares foi avaliada e, de modo geral, mostrou-se eficiente, garantindo a comunicação correta das informações entre as plataformas. Isso garantiu a interpretação correta dos elementos e suas funções, eliminou a necessidade de reatribuição manual e aumentou a produtividade, embora algumas inconsistências tenham sido observadas.

A primeira inconsistência ocorreu no teste de uma transferência dos elementos estruturais do Revit para o SCIA, onde houve desalinhamento e desconexão de alguns elementos, como ilustrado na Figura 30. Isso se deve ao foco da modelagem no modelo estrutural no Revit, sem considerar o modelo analítico do SCIA. Apesar das ferramentas de correção do SCIA, é essencial que o modelo analítico seja considerado desde o início do projeto.

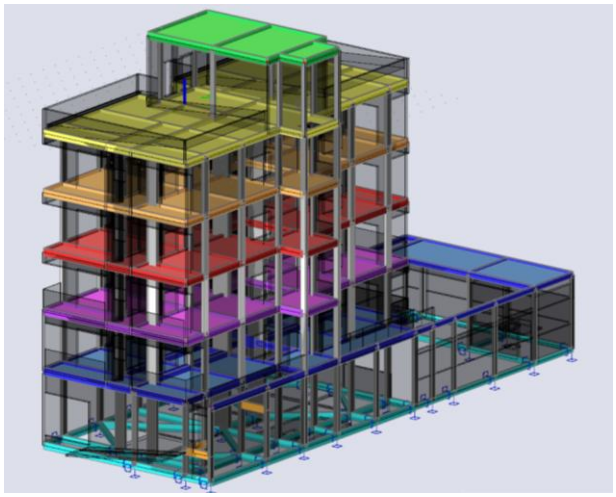
Figura 30: Transferência de elementos estruturais do Revit para SCIA.



Fonte: Autora.

Diante dessa situação, optou-se por importar apenas o modelo arquitetônico como um sólido de referência para o SCIA, uma abordagem que se mostrou eficiente para projetos que não levam em consideração o modelo analítico na fase inicial. A importação do modelo arquitetônico facilitou a identificação de possíveis interferências entre os projetos arquitetônico e estrutural durante a modelagem, conforme Figura 31.

Figura 31 – Referência arquitetônica e modelagem estrutural no SCIA.



Fonte: Autora.

A transferência de dados entre o SCIA e o Allplan foi, em geral, satisfatória, exigindo apenas ajustes menores. Algumas lajes apresentaram inconsistências na definição de suas prioridades em relação a vigas e pilares, causadas por deslocamentos mínimos (na ordem de décimos de milímetros) durante a modelagem no SCIA. Além disso, em alguns casos, pilares com desalinhamentos milimétricos entre topo e base foram interpretados pelo Allplan como colunas inclinadas, o que dificultou o uso de ferramentas automatizadas para a inserção de armaduras, disponíveis apenas para colunas retas.

Os problemas de transferência de dados foram todos solucionados ao aumentar a tolerância dos parâmetros dos elementos no Allplan ou remodelando os elementos quando necessário. Essas correções permitiram a continuidade do projeto sem maiores contratempos, garantindo que o detalhamento fosse concluído de forma adequada.

Além disso, notou-se que seria interessante que as informações de dimensionamento, como a área de aço necessária calculada no SCIA, fossem exportadas via IFC para o Allplan de maneira mais automatizada. Essa funcionalidade adicional poderia simplificar o processo de detalhamento no Allplan, tornando a integração entre os softwares ainda mais eficiente. Essa melhoria na interoperabilidade proporcionaria um diferencial competitivo em relação a outros softwares de dimensionamento, que também oferecem recursos de detalhamento executivo.

CONCLUSÃO

Conclui-se que o principal benefício do uso do BIM neste projeto foi possibilitar a utilização integrada de múltiplos softwares especializados sem comprometer a continuidade do fluxo de trabalho. Individualmente, nenhum dos programas atenderia plenamente todas as etapas e exigências do projeto, mas cada um se mostrou eficiente e completo em sua especialidade.

Ademais, a integração entre disciplinas, viabilizada pelo BIM, permitiu a compatibilização simultânea dos projetos estrutural e arquitetônico, resultando em uma visualização tridimensional precisa, detecção e correção de interferências, e significativa economia de tempo.

A utilização do formato IFC foi essencial para garantir a interoperabilidade entre os softwares, promovendo uma transferência de informações eficaz e minimizando o tempo gasto com remodelagens. Embora algumas inconsistências tenham sido identificadas, ocorreram apenas em casos pontuais e foram corrigidas rapidamente, sem impacto relevante para o andamento do projeto.

Os resultados destacam ainda a importância da capacitação profissional para o uso eficaz do BIM. É fundamental que o responsável pelo projeto arquitetônico assegure que o modelo IFC contenha informações relevantes além da geometria, como materiais dos elementos, críticos para etapas subsequentes. Além disso, deve-se priorizar a correta representação dos elementos nos modelos analítico e estrutural, evitando retrabalhos na transferência entre softwares de modelagem e dimensionamento.

Atenção também deve ser dada aos detalhes minuciosos na modelagem, pois desalinhamentos, embora toleráveis em uma plataforma, podem gerar incompatibilidades em outras, levando a retrabalhos e potenciais atrasos.

Por fim, os pontos de melhoria identificados refletem áreas a serem aprimoradas, especialmente considerando o contínuo desenvolvimento das tecnologias IFC e BIM. No entanto, esses desafios não impedem a adoção das ferramentas, e a interoperabilidade entre Revit, SCIA e Allplan mostrou-se eficaz ao longo deste estudo.

REFERÊNCIAS

[1] CAMPOS, Hugo Elias Bernini. Estrutura metálica versus estrutura em concreto armado: Estudo comparativo orçamentário de um edifício comercial.2018. Artigo científico – Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba - MG, nov. 2018.

[2] SOARES, Renan Gustavo Pacheco et al. Otimização Paramétrica de Sistemas Estruturais em Concreto Armado para Residências de Alto Padrão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 10., 2018, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural, 2018. p. 1-11.

[3] NASCIMENTO, José Marcos. A importância da compatibilização de projetos como fator de redução de custos na construção civil. Revista On-Line IPOG Especialize, Goiânia, v. 1, n. 7, jun. 2014.

[4] NÓBREGA JUNIOR, C. L.; MELHADO, S. B. Coordenador de projetos de edificações: estudo e proposta para perfil, atividades e autonomia. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 69-89, jan.-jun. 2013. http://dx.doi. org/10.4237/gtp.v8i1.244

[5] JOVANOVICHS, C. T.; MOUNZER, E. C. Evolução tecnológica do desenvolvimento de projetos nos setores de engenharia civil e arquitetura / Technological evolution of project development in the sectors of civil engineering and architecture. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 8, p. 77089–77111, 5 ago. 2021

[6] GONÇALVES JUNIOR, Francisco. Guia para compatibilização de projetos com o BIM. Revista Alto QI: Tecnologia aplicada à Engenharia. 2016.

[7] KALE, S; ARDITI, D. Diffusion of Computer Aided Design Technology in Architectural Design Practice. Jornal of Construction Engineering and Management (ASCE), v. 131, p. 1135-1141, 2005.

[8] WIERZBICKI, Madalina; DE SILVA, Clarence W.; KRUG, Don H. BIM–history and trends. In: Conference Paper. 2011.

[9] COUTO, Rodrigo. Live – Eng. Rodrigo Couto – SCIA Engineer – Cálculo Estrutural Aço e Concreto. YouTube, 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=5wGKawi8b3M>. Acesso em: 1 ago. 2024.

[10] EASTMAN, C. et al. Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores. 1° ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

[11] NEIVA NETO, Romeu da Silva. O PROJETO DA PRODUÇÃO DE FORMAS PARA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO INCORPORANDO BIM. 2014. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Unicamp, Campinas, 2014.

[12] CHECCUCCI, E. S; PEREIRA, A. P. C.; AMORIM A. L. Colaboração e Interoperabilidade no contexto da Modelagem da Informação da Construção (BIM). In: Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital, XV Congreso Sigradi. Santa Fé, 2011.

[13] LINO, José Carlos; AZENHA, Miguel; LOURENÇO, Paulo. Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas. In: ENCONTRO NACIONAL BETÃO ESTRUTURAL - BE2012 FEUP, 1., 2012, Porto. Anais [...] . Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Feup), 2012. v. 1, p. 1-10.

[14] SILVEIRA, Naiara Ariana Nogueira Costa. O papel do BIM para a qualidade do projeto: avaliação da técnica em escritório de arquitetura. 2013. 48 f. Monografia (Especialização) - Curso de Construção Civil, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2013.

[15] SOUZA, L. L. A. de; AMORIM, S. L. R.; LYRIO, A. de M. Impactos do uso do BIM em escritórios de arquitetura: Oportunidades no mercado imobiliário. Gestão & Tecnologia de Projetos, Vol. 4, nº 2, Novembro, 2009.

[16] MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling – BIM. [S. L.]: Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, 2018. Color. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/building-information-modelling-bim/26-11-2018-estrategia-BIM-BR-2.pdf. Acesso em: 25 nov. 2022.

[17] BRASIL. Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling. . Brasília, DF: Diário Oficial da União, 18 maio 2018. Seção 1, p. 3. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2018/decreto-9377-17-maio-2018-786731-publicacaooriginal. Acesso em: 24 nov. 2022.

[18] BRASIL. Decreto nº 10306, de 2 de abril de 2020. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. . Brasília, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10306.htm. Acesso em: 25 nov. 2022.

[19] PAULA, Fernando Romeiro de. Análise da interoperabilidade bim entre dois softwares para elaboração de projetos estruturais em concreto armado de um edifício residencial. 2019. 139 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/25415/1/interoperabilidadebimprojetosestruturais.pdf. Acesso em: 14 out. 2022.

[20] KIMURA, Alio. Informação aplicada a estruturas de concreto armado. 2. ed. São Paulo: Oficinas de textos, 2018. E-book. ISBN 978-85-7975-310-7. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/266354685_Informatica_Aplicada_em_Estruturas_de_Concreto_Armado. Acesso em: 27 out. 2024.

[21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2014: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

[22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062:2017: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

[23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2023: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

[24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120:2019: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

[25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123:2023: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2023.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Projeto executivo de contenção de encostas e urbanização em áreas de risco – Recife/PE

Executive Project for Slope containment and urbanization in Risk Areas – Recife/PE

Tiago de Morais Inocêncio | Engeconsult | tiago.morais@engeconsult.com.br | 0000-0003-2801-6189
Ana Cláudia Villar e Luna Gusmão | Engeconsult | ana.gusmao@engeconsult.com.br | 0000-0001-8351-3546
Hélio A. Machado Pessôa Filho | Engeconsult | helio.pessoa@engeconsult.com.br
Anderson R. Farias de Oliveira | Engeconsult | anderson.farias@engeconsult.com.br
Michelle Pinheiro Pessôa | Engeconsult | michelle.pessoa@engeconsult.com.br
Daniel F. Barreto de Andrade Lima | Engeconsult | daniel.lima@engeconsult.com.br
António José Trigo Relvas | Engeconsult | antonio.relvas@engeconsult.com.br
Marília Gabriela Alves de Arruda | Engeconsult | marilia.arruda@engeconsult.com.br
Eduardo de C. Bittencourt | Engeconsult | eduardo.bittencourt@engeconsult.com.br
Ricardo Luís Barreto de Sales Reis | Engeconsult | ricardo.reis@engeconsult.com.br
Maria Clara Cândido de Lima | Engeconsult | clara.candido@engeconsult.tec.br
Edgar B. F. B. Mendes de Oliveira | Engeconsult | edgar.bosak@engeconsult.com.br
Erick Jones Rocha de Melo | Engeconsult | erick.jones@engeconsult.com.br
Rafael Antônio da Silva Santiago | Engeconsult | rafael.santiago@engeconsult.com.br
Rolison Felipe Ferreira de Lima | Engeconsult | rolison.felipe@engeconsult.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14478834

Resumo

O investimento de R$ 52 milhões destinado às intervenções de contenção de encostas em Recife representa um importante avanço na proteção e segurança de áreas vulneráveis, beneficiando diretamente mais de 2,8 mil moradores de 13 bairros e comunidades. A iniciativa busca mitigar os riscos associados a deslizamentos, especialmente em áreas urbanizadas sobre morros, que são frequentemente afetadas por chuvas intensas. De acordo com as estimativas da prefeitura, cerca de 717 famílias serão diretamente beneficiadas por essas obras. As intervenções incluirão não apenas obras de contenção para garantir a estabilidade das encostas, mas também a adequação de drenagens e o desenvolvimento de soluções urbanísticas, criando um ambiente mais seguro e habitável para essas comunidades. A Encosta (Item/Lote 67) está localizada na rua Alto da Mata em de Dois Irmãos, será objeto da apresentação. Em seu projeto de contenção contará também com academia da cidade, parque infantil, espaço para jogos e ambiente para socialização. No âmbito de execução dos projetos, o fluxo de trabalho inicia-se logo após a análise geotécnica da área de intervenção. Essa etapa é essencial, pois permite entender as características do solo, como sua resistência, estabilidade e condições de drenagem, entre outros fatores cruciais para a definição da solução mais adequada ao projeto. A terraplanagem entra em seguida como uma etapa fundamental, na qual o levantamento topográfico detalhado permite ajustar o relevo natural às

necessidades do projeto, seja para construção de infraestrutura ou para criação de áreas de convivência e circulação. Durante essa fase, as áreas de bermas são especialmente planejadas e dimensionadas. Essas áreas, além de terem função técnica, como auxiliar no projeto de drenagem e de contenção, também são definidas para serem urbanizadas na fase final. O projeto de drenagem se apresenta como indispensável no projeto de contenção de encostas, prevenindo deslizamentos e erosão em áreas críticas de morros. A drenagem controla a água das chuvas, minimizando a pressão sobre o solo e as estruturas de contenção. A urbanização dessas bermas inclui a criação de espaços de lazer, convivência e paisagismo, integrando o ambiente construído com a natureza local. O partido Urbanístico é a requalificação das áreas de morro, explorando seus espaços, praças e áreas de lazer não só para promove a saúde física, mas também reforça o sentimento de pertencimento e identidade local, além disso, ao ocupar esses espaços, ajudamos a revitalizá-los, tornando-os mais seguros. Projetos desse tipo é de grande relevância para a comunidade nele inserida, promovendo à prevenção dos deslizamentos, redução de riscos, preservação de estradas e edificações, manutenção de serviços públicos, ambientes mais seguros, prevenção de erosão, manejo de recursos hídricos e melhoramento no planejamento urbano. A ferramenta BIM (Building Information Modeling) vem como excelente suporte a esse tipo de projeto fornecendo uma colaboração interdisciplinar, oferecendo subsídios no planejamento, análise e execução das obras.

Palavras-chave: BIM. Geotecnia. Drenagem. Terraplenagem. Urbanismo.

Abstract

The R$ 52 million investments in slope containment in Recife marks a major advancement in protecting vulnerable areas, benefiting over 2,800 residents across 13 neighborhoods. This initiative primarily targets landslide risk reduction in densely populated hillside areas impacted by heavy rainfall. According to city estimates, approximately 717 families will directly benefit, with the project focusing on slope stability, improved drainage, and urban features to create safer and more livable communities. A key intervention is the slope on Alto da Mata Street (Item/Lot 67) in Dois Irmãos. This project exemplifies a comprehensive approach by incorporating amenities such as a fitness center, playground, game area, and community gathering spaces. These additions create safe, engaging environments that encourage community involvement, improve well-being, and strengthen resilience in hillside areas, where shared spaces support both social and physical needs. The project begins with a geotechnical analysis of each area, a critical step for understanding soil stability, drainage, and other essential characteristics to guide effective containment and drainage solutions. After the geotechnical phase, earthworks are conducted, supported by detailed topographic surveys that allow the terrain to be precisely adjusted for infrastructure construction and safe community use. This stage is essential in areas prone to erosion, where accurate modeling ensures long-term stability. During earthworks, berms are planned and sized to serve both technical and community functions. These berms manage rainwater flow, reduce pressure on containment structures, and prevent erosion. In later stages, these berms are urbanized into green spaces with landscaping, leisure areas, and gathering spots, enhancing both physical stability and neighborhood value by providing accessible, attractive areas for residents to enjoy. An effective drainage system is another critical element in slope containment, controlling rainwater to prevent landslides and erosion in high-risk hillside areas. Drainage reduces soil pressure, stabilizing slopes and enhancing the durability of containment structures. By integrating drainage with urbanized berms, the project harmoniously combines safety features with recreational and aesthetic elements that strengthen the community's resilience and appeal. The project's urban design emphasizes revitalizing hillside areas to create safe, inclusive, and health-promoting spaces. By adding plazas, playgrounds, and sports areas, the project fosters physical activity, builds a sense of belonging, and reclaims underused spaces. Active use of these areas promotes community pride, encouraging residents to take ownership of their surroundings and ensuring safer, well-maintained public spaces. These projects offer substantial benefits, including landslide prevention, risk reduction, protection of roads and buildings, and safer neighborhoods. They also improve public service maintenance, prevent erosion, manage water resources efficiently, and support urban planning. The use of Building Information Modeling (BIM) technology significantly enhances project success, providing an interdisciplinary platform for real-time collaboration, optimizing resources, and reducing errors. BIM facilitates each project phase, from design to implementation and future maintenance, ensuring a sustainable approach that integrates community needs with long-term stability and resilience, ultimately delivering lasting value to residents and supporting Recife's urban resilience goals.

Keywords: BIM. Geotechnics. Drainage. Earthworks. Urbanism.

INTRODUÇÃO

Desde o período colonial, a população mais pobre tem ocupado áreas de baixo valor imobiliário, como margens de rios e encostas, devido à falta de habitação acessível e adequada. Essas áreas, geralmente sem infraestrutura e exigindo altos investimentos e conhecimentos técnicos para ocupação segura, foram ocupadas espontaneamente, com construções sobre palafitas, aterros e encostas, muitas vezes sem considerar as condições naturais do terreno [1].

A erosão do solo é um fenômeno global que afeta a segurança, as paisagens e a economia [2]. Em várias cidades brasileiras, práticas como cortes em taludes, remoção de vegetação e descarte de resíduos e efluentes em encostas contribuem para a ocorrência de desastres ambientais [3]. Recife é uma dessas cidades, apresentando áreas extensas de encostas vulneráveis a riscos ambientais, que são agravados tanto pelas características das ocupações irregulares quanto pelo regime de chuvas intenso [3].

O município do Recife, capital de Pernambuco, é uma cidade litorânea com uma população estimada em 1,6 milhão de habitantes e uma área de 218,5 km², resultando em uma alta densidade populacional, cerca de 7.000 hab./km². Administrativamente, o Recife é dividido em seis Regiões Político-Administrativas (RPAs), que englobam um total de 94 bairros, alguns localizados em áreas de geomorfologia mais acidentada [4].

Apesar de ainda existirem áreas não ocupadas, o Recife enfrenta um intenso processo de urbanização desordenada, que resultou em um crescimento urbano acelerado. Esse fenômeno trouxe consigo problemas graves, como inundações causadas pelas chuvas, deslizamentos de terra em áreas de ocupação irregular (principalmente nas colinas e tabuleiros costeiros) e significativas perdas humanas e socioeconômicas.

Recife, originalmente um pequeno vilarejo portuário no final do século XVI, começou a se desenvolver após a invasão holandesa em 1630, com a construção do bairro portuário que futuramente formaria o município [5]. A partir da década de 1940, grandes enchentes nas planícies da cidade levaram à remoção parcial de moradias das áreas centrais, promovida pela Liga Social Contra os Mocambos, o que resultou no deslocamento de famílias para os morros das zonas Norte e Sul. Essa migração intensificou a ocupação irregular nessas áreas, que atualmente concentram os principais pontos críticos de encostas a serem recuperadas.

Em 1964, com a criação do Banco Nacional de Habitação, a Companhia Estadual de Habitação Popular (COHAB) deu início à construção de vilas e conjuntos habitacionais, em sua maioria localizados no topo dos morros, enquanto as encostas adjacentes continuaram sendo ocupadas irregularmente por populações de baixa renda [1].

Essas ocupações desordenadas foram realizadas sem observância de critérios técnicos, o que gerou uma série de problemas ambientais e de segurança. As encostas frequentemente sofrem cortes e aterros inadequados, desmatamento, descarte irregular de águas servidas e a construção de fossas nas bordas dos taludes, o que aumenta a infiltração de água e a sobrecarga, contribuindo para a instabilidade e o risco de deslizamentos [6].

Diante disso, ações de intervenção, como a contenção de encostas, se apresentam cada vez mais necessária para segurança da população e a sustentabilidade ambiental, promovendo à prevenção dos deslizamentos, redução de riscos, preservação de estradas e edificações, manutenção de serviços públicos, ambientes mais seguros, prevenção de erosão, manejo de recursos hídricos e melhoramento no planejamento urbano.

A ferramenta BIM (*Building Information Modeling*) vem como excelente suporte aos projetos de contenção de encostas, fornecendo uma colaboração interdisciplinar, oferecendo subsídios no

planejamento, análise, execução e monitoramento das obras. Permitindo uma abordagem integrada e otimizada, envolvendo desde a análise inicial do terreno até o planejamento das soluções de engenharia, garantindo maior precisão e eficiência em todas as fases do projeto. Conforme [7], essa integração de dados e a interação entre dimensionamento e desenho resultam em economia de tempo e simplificação das verificações adicionais.

A seguir, serão apresentadas as etapas detalhadas do projeto de contenção de encostas, desenvolvido com o auxílio da ferramenta BIM, aplicado a uma encosta localizada no bairro de Dois Irmãos, Recife.

PROCESSOS DO PROJETO

O processo de construção do modelo BIM está detalhado no fluxograma a seguir (Figura 1), que apresenta cada etapa do desenvolvimento, desde a concepção inicial até a finalização e entrega do produto.

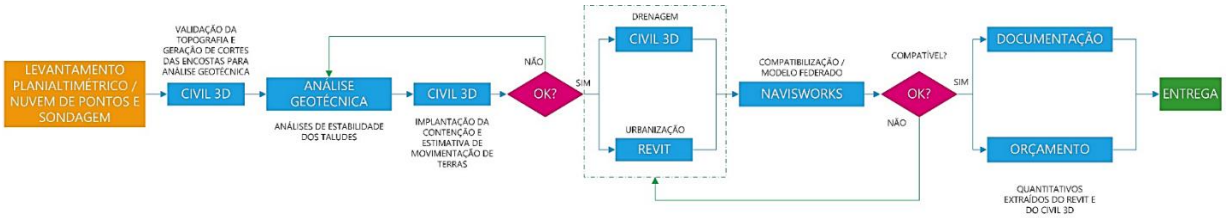
Primeiramente, a área é visitada pelos projetistas de todas as disciplinas envolvidas para uma análise inicial das condições locais e identificação de necessidades específicas. Em seguida, é realizado o levantamento topográfico e geotécnico, etapa fundamental para coletar informações detalhadas sobre o relevo, as características do solo e eventuais pontos críticos que possam influenciar o projeto.

Durante essa etapa também é possível identificar aspectos ambientais, analisando qual melhor estratégia para minimizar os impactos causados pelo processo de estabilização de encostas. Sempre presando a minimização da degradação do solo, minimizando a produção de sedimentos que interfere diretamente no sistema de drenagem.

Os dados coletados auxiliam, primeiramente, as disciplinas de geotecnia, que avaliam a estabilidade do terreno e definem as medidas de contenção necessárias. Posteriormente, a equipe de terraplenagem utiliza essas informações para ajustar o terreno, preparando-o para receber as futuras intervenções de infraestrutura e espaços planejados.

Em sequência, a disciplina de drenagem desenvolve um sistema que assegure o escoamento adequado das águas pluviais, minimizando riscos de erosão e deslizamentos. Finalmente, a equipe de urbanismo integra todas essas soluções em um plano que contempla o uso seguro e funcional dos espaços, priorizando a convivência e a qualidade de vida dos usuários.

Figura 1: Fluxograma do processo de construção do modelo BIM



Fonte: Autoria Própria

ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Os estudos topográficos na encosta situada na Rua Alto da Mata, em Dois Irmãos, o levantamento planialtimétrico é necessário para a execução do projeto de contenção. Os desafios como topografia íngreme, vegetação densa e a ausência de uma rede planialtimétrica do IBGE exigiram metodologias complementares. Fez-se um levantamento aéreo com drone equipado com laser scanner para gerar modelos de elevação e com VANT de câmera RGB para ortoimagens georreferenciadas. Em áreas

inacessíveis aos drones, técnicas convencionais com Estação Total e GNSS capturaram detalhes do terreno.

ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Os estudos geotécnicos realizados na Rua Alto da Mata visaram fornecer dados essenciais para os Projetos de Contenção. Para isso, foram feitos ensaios de sondagem geotécnica usando o método SPT (*Standard Penetration Test*) para avaliar a resistência e as características dos solos. Cada sondagem gerou boletins detalhados com os valores de NSPT (Número de Golpes no SPT) em intervalos de um metro, além da classificação geotécnica das camadas e a profundidade do nível freático, informações fundamentais para o planejamento de contenção e drenagem da encosta.

A locação das sondagens foi feita com precisão utilizando GPS portátil e instrumentos manuais, seguindo a planta de locação fornecida pelo cliente. Esse processo garantiu o posicionamento correto das sondagens, assegurando a qualidade dos dados obtidos e a interpretação geotécnica necessária para os projetos. Esses estudos formam a base técnica para desenvolver soluções adequadas, considerando tanto as características do solo quanto a presença de água subterrânea, elementos cruciais para a segurança e estabilidade da encosta.

PROJETO GEOMÉTRICO

O projeto geométrico da encosta 67, na Rua Alto da Mata, foi desenvolvido com base em estudos topográficos, geotécnicos e hidrológicos, que forneceram dados cruciais para o desenho técnico, incluindo curvas de nível, cadastro planialtimétrico, furos de sondagem, e seções transversais da área. A seleção das seções críticas considerou fatores como variação de cotas, interferências de edificações e mudanças nas características do terreno. Foram analisadas três seções para identificar os pontos mais suscetíveis a deslizamentos. O projeto, estruturado a partir de um eixo no pé do talude, facilita a definição do dimensionamento das soluções de contenção, integrando aspectos hidrológicos para garantir a drenagem adequada e a estabilidade da encosta.

PROJETO DE CONTENÇÃO

Para o projeto aqui descrito, foi realizada uma análise detalhada para mapear a geometria do terreno e identificar pontos críticos de intervenção. Principais interferências detectadas incluem a presença de casas e edificações próximas, que acrescentam peso ao solo; escadarias e vias de acesso, que influenciam a distribuição de cargas e a drenagem; e obras de drenagem existentes, que afetam a infiltração de água e a estabilidade do terreno. Essa análise contou com levantamentos topográficos e investigações geotécnicas essenciais para entender o subsolo e orientar decisões de engenharia.

Com base nas informações levantadas, foram elaboradas alternativas de contenção que atendem às características da encosta, equilibrando eficiência técnica, viabilidade econômica e compatibilidade com o tipo de solo, além de minimizar desapropriações. As técnicas de muro de pedra argamassada e solo grampeado foram técnicas que se apresentaram como as mais adequadas, no que se refere a um custo-benefício e garantindo a estabilidade necessária para a encosta da Rua Alto da Mata.

PROJETO DE TERRAPLENAGEM

O Projeto de Terraplenagem tem como principal objetivo estabelecer os critérios necessários para a realização de movimentações de massas de solo, tanto em cortes quanto em aterros, garantindo que essas intervenções sejam executadas de forma eficiente e segura. Para isso, ele se baseia nos dados detalhados obtidos nos Estudos Geotécnicos e nos elementos técnicos fornecidos pelo Projeto Geométrico das encostas, como plantas baixas, seções transversais e o mapa de cubação.

Os volumes de corte e aterro foram calculados com o uso do software especializado Autocad Civil 3D, da Autodesk.

Este software foi alimentado com os dados da superfície natural do terreno e da superfície projetada de terraplenagem, após a definição do pacote de pavimentação e das cotas de greide (linha de nível da pavimentação). A partir das seções transversais geradas, o software pôde calcular com precisão os volumes de terra a serem removidos (corte) ou acrescentados (aterro) para alcançar a forma desejada da encosta.

PROJETO DE DRENAGEM

A metodologia para determinar a vazão de projeto nas obras de drenagem foi definida com base na área de drenagem da bacia hidrográfica, conforme o estudo hidrológico. O sistema de drenagem foi projetado para gerenciar de forma eficiente as águas pluviais sobre encostas e áreas próximas, reduzindo riscos de erosão, deslizamentos e problemas relacionados ao acúmulo de água.

Para calcular a vazão, utilizou-se um modelo digital de terreno (MDT) de alta resolução, que permite delimitar a área de contribuição das águas, dividida em dois componentes: a área de contribuição a montante e a própria encosta, formando a microbacia hidrográfica.

O sistema de drenagem nas encostas integra canaletas, galerias e descidas d'água, entre outras estruturas, para direcionar a água de forma segura ao sistema de drenagem mais próximo. Esse direcionamento adequado do exutório da microbacia assegura o escoamento controlado das águas pluviais, minimizando problemas de saturação do solo, erosão e deslizamentos, além de preservar a estabilidade das áreas drenadas.

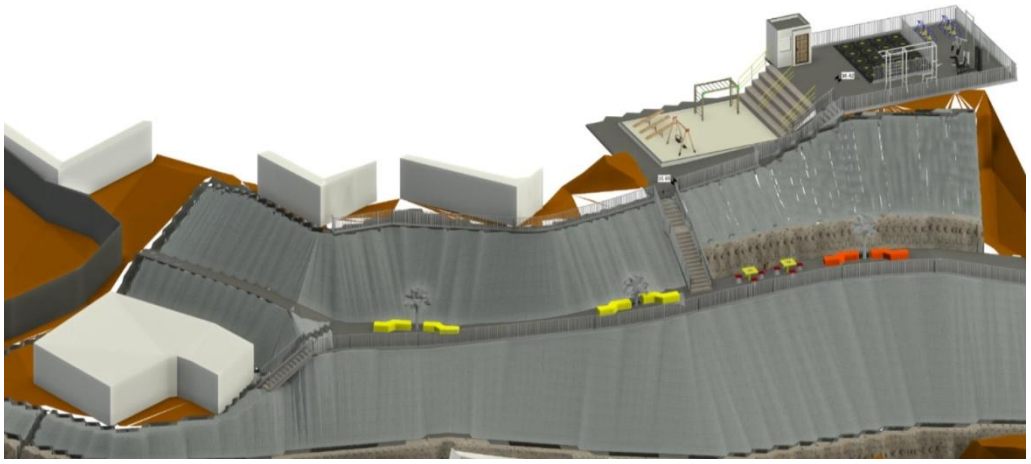
PROJETO DE URBANISMO

Após as disciplinas serem consolidadas, foram implementadas melhorias que vão além da estabilização geotécnica, promovendo a valorização urbana da área. O projeto inclui a criação de acessos seguros com escadarias, rampas e vias de circulação, facilitando a mobilidade de moradores e transeuntes em uma região de topografia acidentada, o que proporciona maior segurança e conforto para todos que circulam pelo local.

Além de aprimorar a mobilidade, o projeto focou no bem-estar da comunidade, integrando áreas para saúde e lazer. Sendo implementada uma Academia da Cidade com aparelhos de ginástica ao ar livre, incentivando hábitos saudáveis e acessíveis.

Também foi criado um parque infantil seguro e integrado à paisagem requalificada, oferecendo às crianças um espaço adequado para brincar e se desenvolver, ampliando as oportunidades de lazer e promovendo um ambiente mais inclusivo e agradável para a comunidade local, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2: Perspectiva em BIM dos projetos integrados para contenção de encostas



Fonte: Autoria Própria

COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS

A compatibilização de projetos de contenção de encostas se dá através do software Navisworks, permitindo a realização de análises de interferência, identificando conflitos entre elementos de diferentes modelos, ajudando a evitar problemas durante a execução do projeto.

A colaboração entre as equipes de projeto, permite que arquitetos, engenheiros e outros profissionais integrem seus modelos em um único ambiente, melhorando assim a comunicação e a compreensão dos projetos.

No final, é fornecido a extensão NWD para a Prefeitura do Recife, que por sua vez consegue analisar o modelo e verificar conforme as peças gráficas.

CONCLUSÃO

A aplicação de BIM em projetos de contenção de encostas vem promovendo uma abordagem integrada, essencial para a segurança e eficiência desse tipo de projetos. Com o BIM, profissionais das diferentes disciplinas colaboram em tempo real, facilitando o planejamento, minimizando erros e permitindo simular cenários com alta precisão. Possibilitando uma simulação de diferentes cenários, como análise de tipos de solo, condições climáticas, sistema de drenagem e impactos que essas intervenções teriam no ecossistema local, auxiliando na tomada de decisão, garantindo que a solução adotada seja segura e tecnicamente viável. Diante disso, essa metodologia facilita a integração de elementos como drenagem, terraplenagem e urbanização, resultando em soluções de contenção seguras, econômicas e adaptadas ao ambiente.

REFERÊNCIAS

[1] FIDEM - O PROGRAMA VIVA O MORRO - experiência aplicada na Região Metropolitana de Recife. 2006. Disponível em: Microsoft Word - AgenciaCondepeFidemProgramaVivaMorro.doc (mdr.gov.br).

[2] POLOVINA, S.; RADIC, B.; RISTIC, R.; KOVACEVIC, J.; MILCANOVIC, V.; ZIVANOVIC, N. Soil Erosion Assessment and Prediction in Urban Landscapes: A New G2 Model Approach. Appl. Sci. 2021, 11, 4154

[3] NASCIMENTO et al., 2020 NASCIMENTO, L. A.; SILVA, T. A.; LAFAYETTE, K. P. V.; SANTOS, M. J. P.; CAAVALCANTI, A. R. Urbanização desordenada e degradação ambiental associados a escorregamentos:

Uma abordagem metodológica para análise temporal de ocupações subnormais. CIÊNCIA E NATURA, v. 42, p. e81, 2020.

[4] Censo 2013. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2013.

[5] BANDEIRA, A. P. N. Parâmetros técnicos para gerenciamento de áreas de riscos de escorregamentos de encostas na região metropolitana do Recife. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 340p. 2010.

[6] BANDEIRA, A. P. N. Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no Município de Camaragibe-PE. MS Dissertação de metrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

[7] OLIVEIRA, Edgar Barbosa Ferreira Bosak Mendes de. Uso e análise de ferramenta BIM para aprimoramento do projeto de contenção de encostas em ambiente urbano com alta densidade populacional. 2024. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Realidade mista e BIM aplicados às inspeções e verificações de estruturas de concreto armado

Mixed reality and BIM applied to reinforced concrete structure inspections and verifications

Isabele Rocha Castellano | Universidade Federal de Viçosa | isabele.castellano@ufv.br | 0009-0004-8667-8310
Ana Carolina Pereira Martins | Universidade Federal de Viçosa | ana.martins5@ufv.br | 0000-0002-2650-4309
José Maria Franco de Carvalho | Universidade Federal de Viçosa | josemaria.carvalho@ufv.br| 0000-0001-5785-3213
Márcio Henrique Angelo Charles | Universidade Federal de Viçosa | marcio.charles@ufv.br | 0009-0006-3425-4668
José Carlos Lopes Ribeiro | Universidade Federal de Viçosa | jcarlos.ribeiro@ufv.br| 0000-0003-4069-7001

DOI: 10.5281/zenodo.14478936

Resumo

Os processos de inspeção e verificação de elementos estruturais desempenham um papel crucial na garantia da segurança e funcionalidade de estruturas ao longo de seu ciclo de vida. Atualmente, esses processos são realizados por meio do preenchimento manual de fichas de inspeção e registros fotográficos, o que pode gerar demora na execução e imprecisões dos resultados. Este estudo explora a integração de técnicas de Realidade Mista (Mixed Reality, MR) com *Building Information Modeling* (BIM) para otimizar a inspeção e verificação de estruturas de concreto. O BIM é uma metodologia consolidada para gerenciamento e comunicação entre os diversos envolvidos em um projeto de construção, abrangendo todas as etapas, desde o planejamento até a manutenção contínua após a conclusão. Por outro lado, a MR é uma tecnologia que combina elementos da Realidade Virtual (Virtual Reality, VR) e da Realidade Aumentada (Augmented Reality, AR). Quando integradas ao ambiente BIM, essas tecnologias criam um espaço de trabalho inovador, unindo o modelo virtual à realidade física do projeto, capturado por uma câmera de vídeo. Essa integração permite visualizar e interagir com o modelo virtual diretamente no local da obra, facilitando a análise e a compreensão do projeto no contexto real, o que pode melhorar a precisão e a eficiência das atividades de construção e manutenção. Notas *BIM Collaboration Format* (BCF) podem ser geradas para sinalizar a posição e descrição das incompatibilidades encontradas durante a inspeção. O objetivo dessa técnica é fornecer informações adicionais (dimensões, materiais e incompatibilidades com o projeto executivo), identificadas e registradas no modelo virtual para futuras consultas. Estudos de caso foram realizados para inspeção e verificação da execução de armaduras em edifícios de concreto armado. Dessa forma, criou-se uma interface entre um dispositivo móvel como celular ou tablet para reportar as informações obtidas nas inspeções e verificações, com alto grau de precisão. A MR permite que o inspetor faça anotações e as compartilhe em tempo real com a equipe de desenvolvimento. A combinação MR/BIM oferece vantagens significativas, tornando o processo de inspeção e verificação mais eficiente e preciso, como a minimização de erros, a otimização e a documentação dos processos e maior segurança das estruturas. Contudo, alguns desafios ainda precisam ser superados para uma ampla implementação dessa técnica. Entre os principais estão as dificuldades no rastreamento e posicionamento do

modelo virtual no ambiente real, a falta de informações no modelo BIM, a resistência dos usuários à utilização dos formatos de arquivos neutros e a resistência cultural para a adoção de tecnologias no canteiro de obras. Este trabalho além de conter uma ampla pesquisa bibliográfica sobre o tema, apresenta um fluxo de trabalho inovador para a inspeção e manutenção de obras, demonstrando seu potencial para melhorar os processos e superar as limitações dos métodos convencionais.

Palavras-chave: BIM. Realidade Mista. Estruturas. IFC. BCF.

Abstract

Inspection and verification processes for structural elements play a crucial role in ensuring the safety and functionality of structures throughout their life cycle. Currently, these processes are carried out by manually filling out inspection forms and photographic records, which can lead to delays in execution and inaccurate results. This study explores the integration of Mixed Reality (MR) techniques with Building Information Modeling (BIM) to optimize the inspection and verification of concrete structures. BIM is a consolidated methodology for management and communication between the various parties involved in a construction project, covering all stages, from planning to ongoing maintenance after completion. On the other hand, MR is a technology that combines elements of Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR). When integrated into the BIM environment, these technologies create an innovative workspace, linking the virtual model to the physical reality of the project, captured by a video camera. This integration makes it possible to visualize and interact with the virtual model directly on site, facilitating analysis and understanding of the project in the real context, which can improve the accuracy and efficiency of construction and maintenance activities. BIM Collaboration Format (BCF) notes can be generated to signal the position and description of incompatibilities found during the inspection. The aim of this technique is to provide additional information (dimensions, materials and incompatibilities with the executive project), identified and recorded in the virtual model for future reference. Case studies were carried out to inspect and verify the execution of reinforcement in reinforced concrete buildings. In this way, an interface was created between a mobile device such as a cell phone or tablet to report the information obtained during inspections and checks, with a high degree of accuracy. MR allows the inspector to make notes and share them in real time with the development team. The MR/BIM combination offers significant advantages, making the inspection and verification process more efficient and accurate, such as minimizing errors, optimizing and documenting processes and improving the safety of structures. The record of inspections and verifications can later be used for future maintenance of the structure throughout its useful life. However, some challenges still need to be overcome for this technique to be widely implemented. Among the main ones are the difficulties in tracking and positioning the virtual model in the real environment, the lack of information in the BIM model, users' resistance to using neutral file formats and cultural resistance to adopting technologies on the construction site. As well as a comprehensive literature survey on the subject, this work presents an innovative workflow for the inspection and maintenance of construction sites, demonstrating its potential to significantly improve processes and overcome the limitations of traditional conventional methods, with greater efficiency and precision.

Keywords: BIM. Mixed Reality. Structures. IFC. BCF.

INTRODUÇÃO

A verificação e a inspeção das armaduras em elementos estruturais de concreto são etapas importantes no ciclo de vida de uma estrutura. Essas atividades têm o objetivo de garantir a conformidade das armaduras com as especificações do projeto estrutural, bem como a qualidade da sua instalação. Atualmente, elas ocorrem através de fichas e da comparação dos detalhamentos impressos com as observações realizadas durante as visitas *in-loco* [1], o que potencializa incompatibilidades entre o projeto e a estrutura construída. O *Building Information Modeling* (BIM), consiste em uma metodologia que possibilita gerenciar todo o ciclo de vida de uma edificação, e surge como uma alternativa para solucionar estes problemas [2].

Em complemento ao BIM, a Realidade Mista (Mixed Reality, MR) representa uma combinação de tecnologias de Realidade Virtual (VR) e Realidade Aumentada (AR). A VR cria um espaço imersivo gerado por computador, permitindo que os usuários interajam com modelos 3D através de dispositivos

específicos [3], enquanto a AR sobrepõe elementos digitais ao mundo físico, integrando imagens virtuais à realidade. Assim, a MR aprimora a percepção do ambiente real, possibilitando a adição de componentes que não estão presentes fisicamente [4]. Quando utilizados em conjunto a metodologia BIM, a AR e a VR permitem a visualização integrada do modelo digital e da situação física, facilitando a análise no local [2].

Este estudo propõe a utilização e a aplicação de ferramentas e técnicas de MR para a verificação e inspeção em estruturas de concreto armado (CA). Com base na criação de um modelo BIM, utilizando esquema de dados neutro *Industry Foundation Classes* (IFC), a MR permite sobrepor a representação digital do modelo com a estrutura real, capturada pela câmera de um dispositivo móvel.

Durante as inspeções, podem ser geradas notas em formato *BIM Collaboration Format* (BCF), interpretáveis por alguns softwares BIM. Essas notas permitem registrar e descrever eventuais incompatibilidades encontradas, como o posicionamento incorreto das armaduras ou falhas de execução. A associação da MR com o BIM para a inspeção e verificação de armaduras apresenta vantagens como a minimização de erros, otimização dos processos de inspeção e verificação e maior segurança das estruturas.

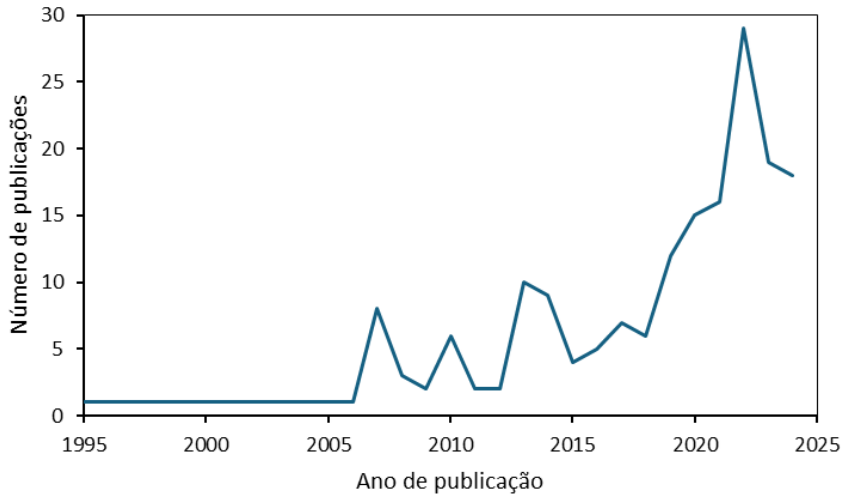
Nesse contexto, as fôrmas e as armaduras de uma estrutura, normalmente apresentadas na forma de desenhos CAD, foram modeladas em software BIM e exportadas para um aplicativo de MR, possibilitando a comparação direta entre o modelo virtual e o real. Eventuais alterações no modelo IFC podem ser realizadas com base nas informações coletadas durante a inspeção.

REFERENCIAL TEÓRICO

Foram encontradas 178 publicações através da plataforma Scopus [5], entre os anos de 1995 e 2024, que possuam o título, o resumo ou as palavras chaves com os descritores do tema deste trabalho.

A Figura 1 apresenta uma análise do número de publicações ao longo dos anos. Observa-se que as pesquisas ocorreram principalmente após o ano de 2019, o que pode estar relacionado ao avanço das tecnologias e à relevância crescente do tópico em diversos setores.

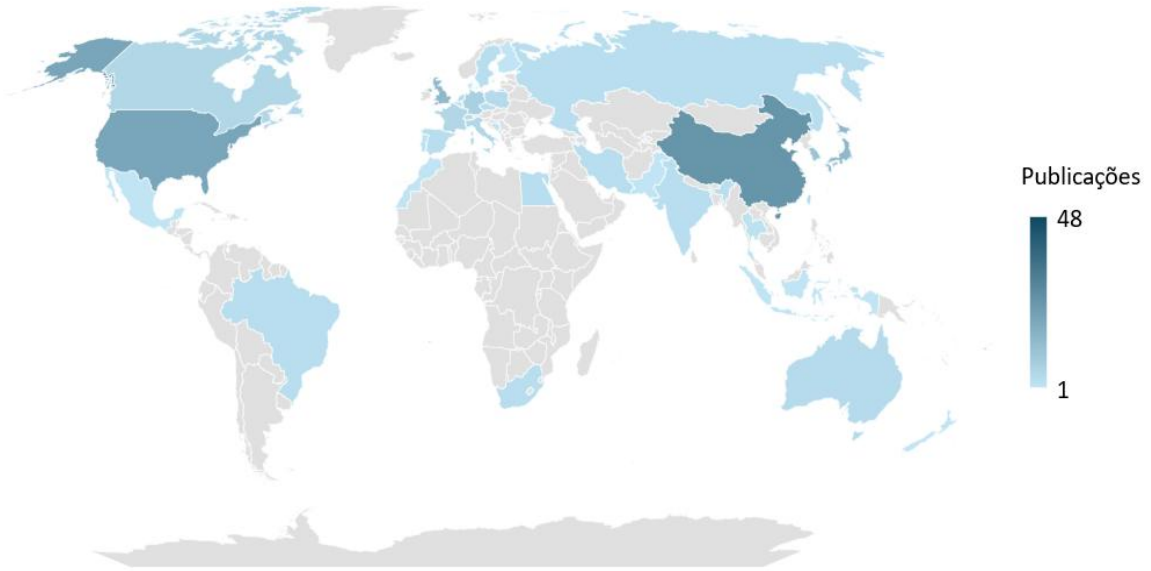
Figura 1: Número de publicações ao longo dos anos.



Fonte: Adaptado de Scopus [5].

A Figura 2 apresenta a relação entre os países e o número de publicações envolvendo os descritores. Destacam-se os territórios dos Estados Unidos e da China. O Brasil aparece na lista, mas com um número baixo de publicações envolvendo esse tema.

Figura 2: Número de publicações em relação aos países.



Fonte: Adaptado de Scopus [5].

A MR ASSOCIADA AO BIM APLICADA À ESTRUTURAS

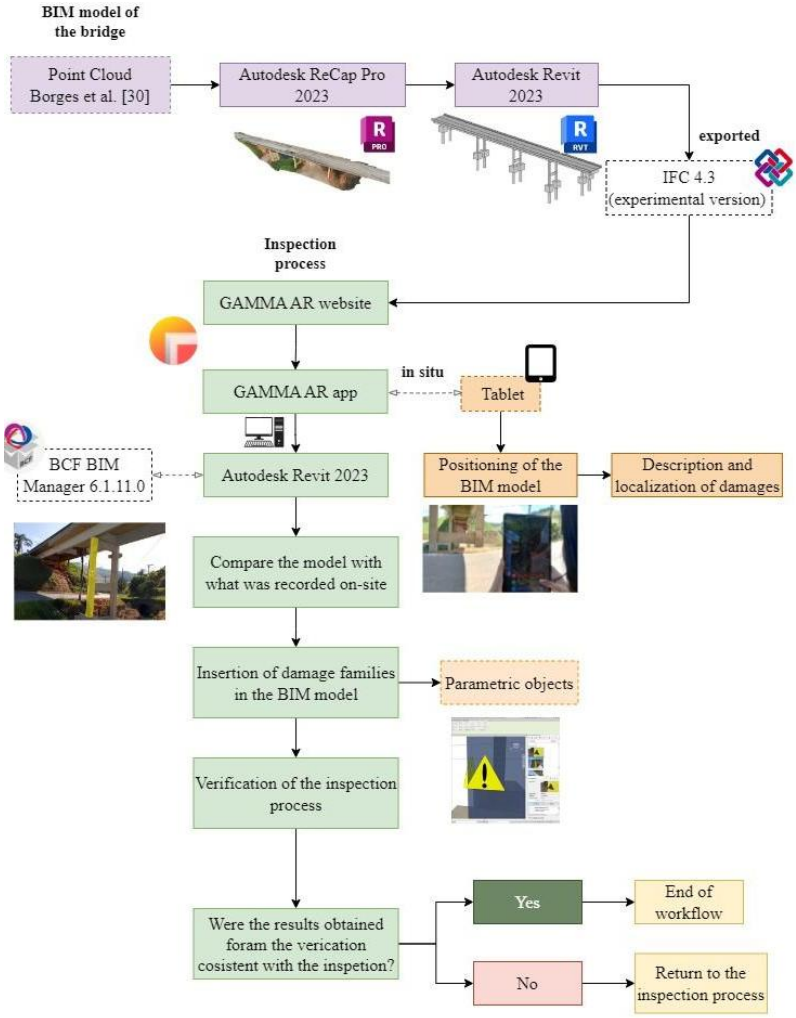
A MR possibilita o inspetor sobreponha o modelo BIM à estrutura real de CA, fornecendo informações adicionais como dimensões, cobrimento, formatos das armaduras, espaçamentos e possíveis inconformidades com o projeto estrutural. Essa tecnologia permite que o engenheiro responsável ou o inspetor da obra realizem anotações em tempo real, podendo compartilhá-las com os envolvidos no projeto.

CHI, H. L. *et al.* [6] propôs a criação de um método que utiliza o escaneamento a laser associado a AR para a verificação da execução de vergalhões de estruturas de CA. Em seu estudo, foram analisadas as posições e formato das armaduras, com o objetivo de detectar incompatibilidades em relação ao projeto estrutural.

CUONG, N. *et al.* [7] investigaram a utilização de MR para visualizar modelos BIM em projetos de pontes. O estudo demonstrou que a combinação dessas tecnologias pode contribuir para a compreensão do projeto por parte dos usuários, permitindo uma visualização mais precisa e detalhada do modelo.

MARTINS, A. *et al.* [8] exploraram o potencial da utilização da MR em conjunto ao BIM para a verificação da compatibilidade multidisciplinar e relato de patologias em pontes. Na Figura 3, é apresentada a metodologia proposta pelo trabalho.

Figura 3: Fluxo de trabalho para inspeção de pontes.



Fonte: Martins et al. [8].

METODOLOGIA

Esta pesquisa desenvolveu um fluxo de trabalho inspirado no estudo de [8], com ênfase na inspeção e verificação de armaduras em estruturas em concreto armado. Para integrar a metodologia BIM e a MR, foram utilizados softwares compatíveis com os formatos IFC e BCF, que são padrões de arquivos neutros, tornando o fluxo de trabalho aplicável em nível global. A modelagem das fôrmas e armaduras foi realizada utilizando o software Allplan Engineering 2024. Para a realização do processo de inspeção utilizando a MR, optou-se pelo aplicativo GAMMA AR para Android.

Após a exportação do modelo estrutural do Allplan em formato IFC 4.3 (versão oficial mais recente do protocolo), o arquivo foi inserido no PORTAL GAMMA AR. O website e o aplicativo possuem comunicação direta (é necessário o acesso à internet). Minutos depois da importação do arquivo IFC é possível abrir o projeto no aplicativo.

Em termos de dispositivos, optou-se pelo Samsung Galaxy Tab S7 devido a questões econômicas e práticas. Entretanto, estudos recentes citam a aplicação de óculos de MR (Figura 4a) e até drones (Figura 4b).

Figura 4: Aplicações de MR com uso de (a) óculos e (b) drone.

a)



Fonte: Website Portal da cidade de Blumenau [9].

b)



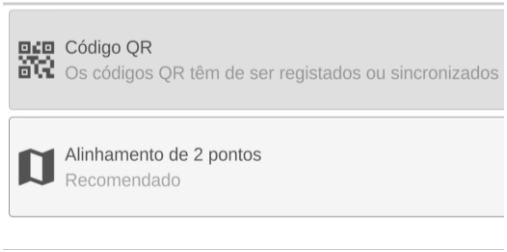
Fonte: Website Tudo Celular [10].

Sequencialmente, foi realizado o posicionamento do modelo no aplicativo. O posicionamento do modelo é uma das etapas mais importantes do método. Quanto mais parecido com a realidade ele estiver, menores serão os erros gerados nas detecções de incompatibilidades. Assim, simultaneamente à vista da realidade obtida pela câmera do dispositivo, o modelo virtual permite a inspeção da obra, identificando as inconformidades eventualmente presentes na estrutura contra o modelo BIM sobreposto.

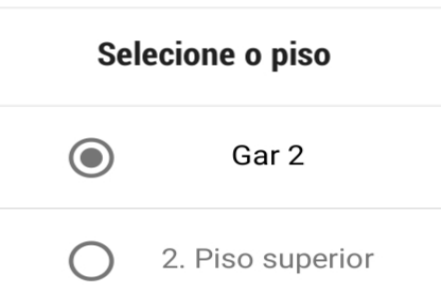
Neste estudo, foi utilizado o método de alinhamento de dois pontos (Figura 5a). Durante as inspeções foram escolhidos os pavimentos (Figura 5b) e as estruturas de referência (Figura 5c) para posicionar o modelo BIM. Em seguida, foi criado um plano no terreno e traçado um vetor (Figura 5d) de acordo com que foi definido no passo anterior.

Figura 5: Posicionamento do modelo BIM no GAMMA AR App.

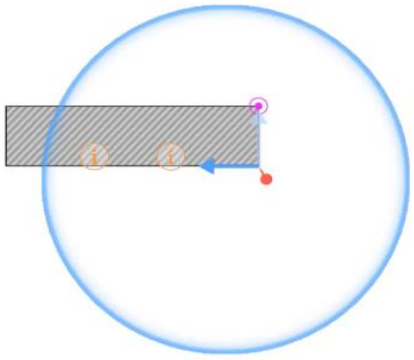
a)



b)



c)



d)



Fonte: Os Autores (2024).

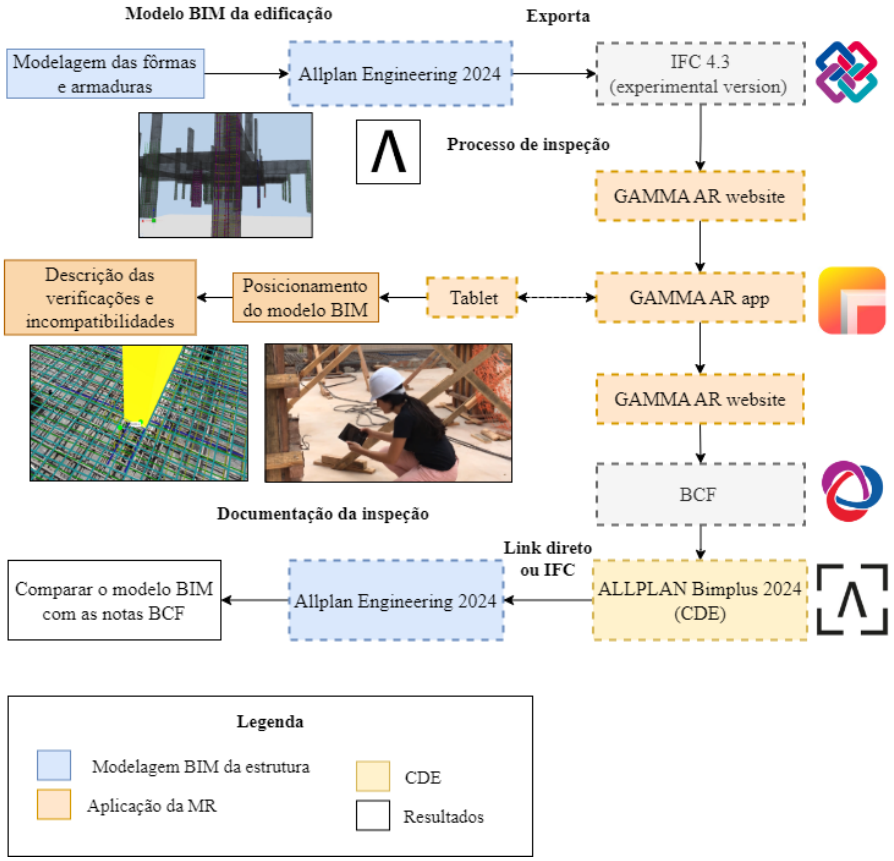
As informações da inspeção foram sincronizadas no GAMMA AR app ao ter acesso à internet e automaticamente enviadas para o GAMMA AR website. Nele, foi possível exportar anotações referenciadas através de um arquivo no formato BCF. O Allplan Engineering, assim como diversos softwares BIM, não importa arquivos no formato BCF em sua forma nativa. Assim, optou-se por utilizar o Bimplus, para comunicar o arquivo BCF com o Allplan.

O ALLPLAN Bimplus 2024 é um ambiente comum de dados (CDE) que permite a colaboração de projetos baseada em modelos BIM para todas as disciplinas envolvidas em projetos de construção [11]. Dessa forma, ele permite que sejam importados e exportados arquivos IFC e BCF. Além disso, possui link direto com o Allplan Engineering 2024, tendo duas formas de comunicação: via IFC ou através do arquivo nativo.

O Allplan Engineering permite ao usuário inserir informações no modelo 3D, incluindo atributos, que permitem inserir variáveis e valores correspondentes. No caso deste trabalho, além de utilizar os atributos para aumentar a quantidade de detalhes do modelo BIM, foram utilizados atributos para o gerenciamento da obra.

Além disso, é possível criar versões do projeto estrutural contendo as alterações realizadas durante a execução da obra, para que seja documentada a situação "como construído" (as built) e durante a vida útil da construção, para registro da inspeção de patologias. Na Figura 6, é apresentado o fluxograma proposto nessa pesquisa para a verificação e inspeção de fôrmas e armaduras de CA utilizando a MR e o BIM.

Figura 6: Fluxo de trabalho para a inspeção e verificação de estruturas de concreto.



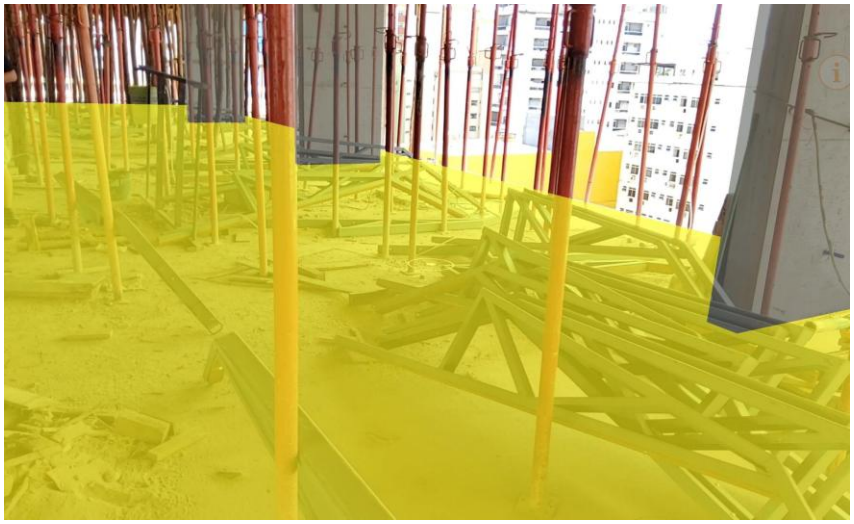
Fonte: Os Autores (2024).

RESULTADOS

As inspeções e verificações de armaduras e fôrmas foram realizadas em dois edifícios em construção na cidade de Viçosa, Minas Gerais, ambos em CA. Os estudos de caso analisaram a utilização da MR e do BIM no canteiro de obras.

A Figura 7 apresenta a sobreposição do modelo virtual BIM sobre a estrutura real de uma das obras inspecionadas, utilizando o aplicativo GAMMA AR e o IFC exportado do Allplan Engineering.

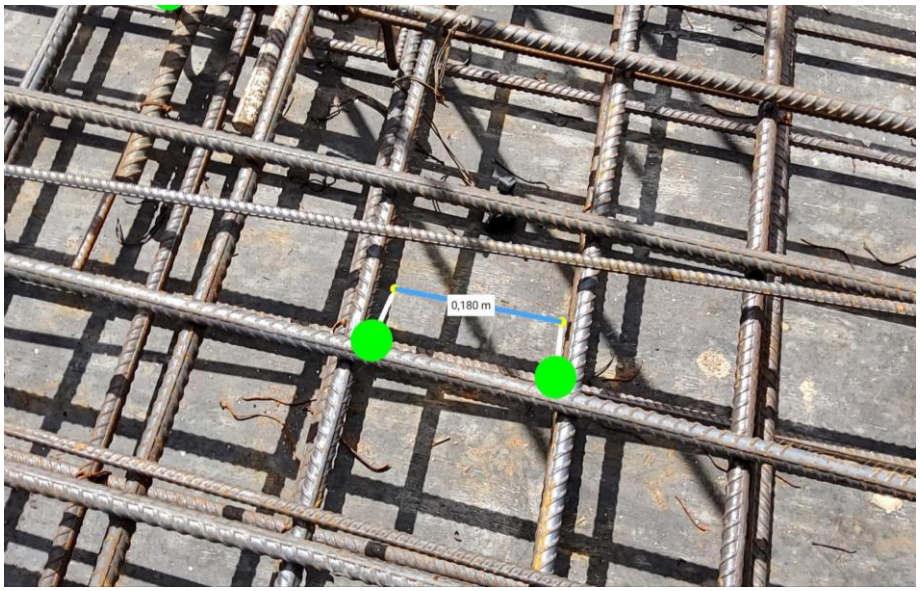
Figura 7: Verificação da concretagem de fôrmas utilizando MR e BIM.



Fonte: Os Autores (2024).

A MR possibilitou a visualização das armaduras reais em relação ao modelo BIM, permitindo medições precisas. Com o modelo devidamente posicionado, foram realizadas medições do espaçamento entre as armaduras das lajes da edificação. Foi utilizada a função de ocultar elementos do GAMMA AR App para facilitar as medições (Figura 8).

Figura 8: Utilização da ferramenta "Medir".

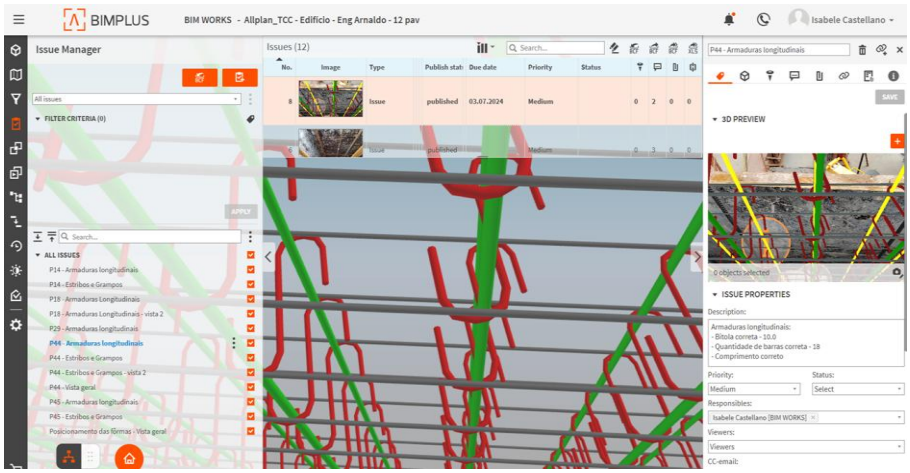


Fonte: Os Autores (2024).

Após a verificação in loco, as informações obtidas no GAMMA AR App foram sincronizadas com o GAMMA AR website assim que uma conexão à internet foi restabelecida. No GAMMA AR website, foi exportado um arquivo no formato BCF. Esse arquivo foi importado no Bimplus, em que já havia sido importado o IFC do modelo BIM da edificação.

No Bimplus, foi possível comparar o modelo BIM com os registros feitos durante a verificação in loco. O recurso de foto de aproximação foi utilizado para que, ao clicar na imagem registrada utilizando o GAMMA AR, o modelo BIM fosse posicionado automaticamente com a mesma posição registrada na imagem. Isso possibilitou a verificação e o registro de informações como o formato das armaduras, o número de barras e o diâmetro das bitolas (Figura 9).

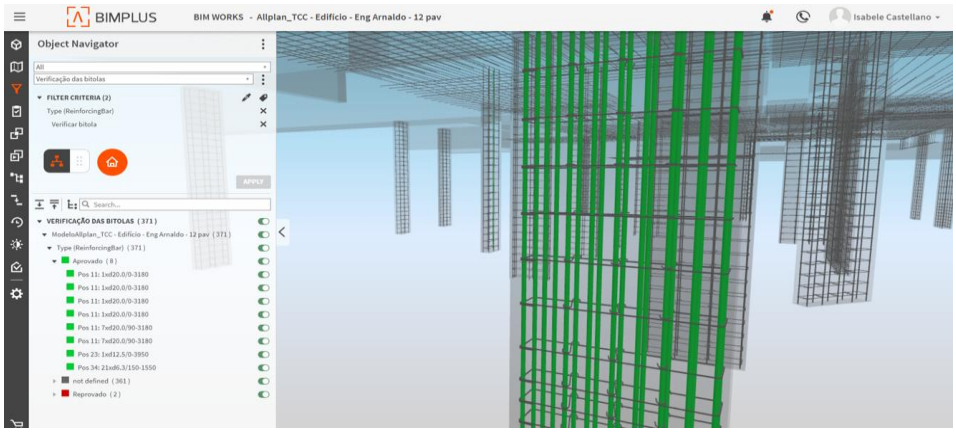
Figura 9: Comparação do modelo BIM com as notas BCF utilizando o Bimplus.



Fonte: Os Autores (2024).

O CDE da ALLPLAN também possui o recurso de criar filtros nos elementos do modelo BIM, baseados em atributos. Foram atribuídos os valores de “Aprovado” para as armaduras em conformidade com o projeto estrutural, “Not defined” para as armaduras não verificadas dentro do Bimplus e “Reprovado” para as que estavam incoerentes em relação ao projeto estrutural. Durante a edição do filtro foram atribuídas as seguintes cores: verde (“Aprovado”), cinza (“Not defined”) e vermelho (‘Reprovado”) (Figura 10).

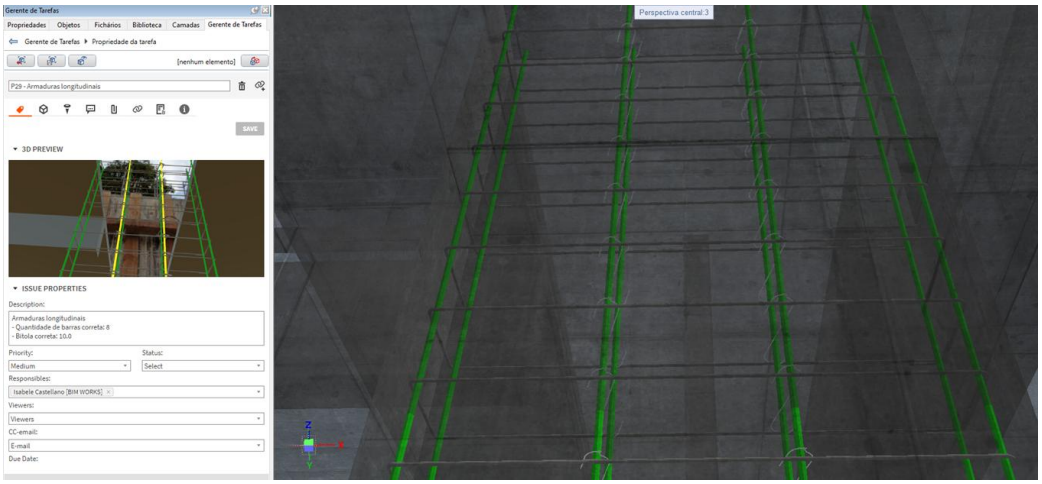
Figura 10: Filtro criado no Bimplus.



Fonte: Os Autores (2024).

Ao importar as informações do projeto do Bimplus para o Allplan Engineering foi possível acessar as notas BCF, como apresentado na Figura 11.

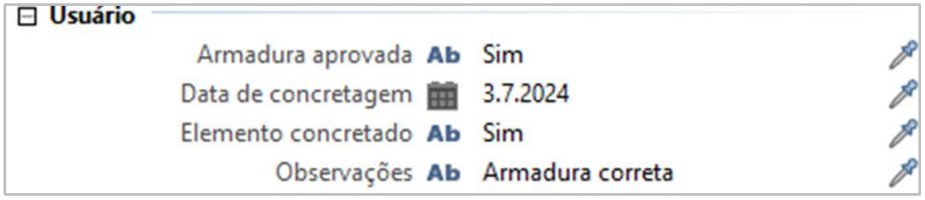
Figura 11: Notas BCF no Allplan Engineering 2024.



Fonte: Os Autores(2024).

No Allplan Engineering também foram criados atributos, os quais foram inseridos nos elementos estruturais, depois foram atribuídos valores para cada um deles, conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12: Atributos criados no Allplan Engineering 2024.



Fonte: Os Autores (2024).

Ao gerar um arquivo no formato IFC através do Allplan, tanto os atributos criados no Allplan Engineering quanto os atributos criados no Bimplus foram exportados corretamente. Os atributos criados no Allplan são indicados na Figura 13, e os atributos criados no Bimplus são ilustrados na Figura 14, ambos visualizados na estrutura do IFC.

Figura 13: Atributos criados no Allplan Engineering 2024 visualizados no IFC.

```
#852=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Data de concretagem',$,IFCLABEL('2024-07-03'),$);
#853=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Elemento concretado',$,IFCLABEL('Sim'),$);
#854=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Armadura aprovada',$,IFCLABEL('Sim'),$);
#855=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Observa\X\E7\X\F5es',$,IFCLABEL('Armadura correta'),$);
```

Fonte: Os Autores (2024).

Figura 14: Atributos criados no Bimplus visualizados no IFC.

```
#17602=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Verificar bitola',$,IFCTEXT('Aprovado'),$);
#17603=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Verificar espa\X\E7amento',$,IFCTEXT('Aprovado'),$);
```

Fonte: Os Autores (2024).

CONCLUSÕES

A aplicação da metodologia proposta neste trabalho para verificações e inspeções de armaduras em estruturas em concreto armado resultou na geração de informações úteis do canteiro de obras, alimentando o modelo BIM, por meio da utilização de arquivos neutros, como o IFC e o BCF, caracterizando um fluxo de trabalho *OpenBIM*. Essa troca de informações permite maior controle do que foi executado, o que torna a construção mais segura. Além disso, a documentação produzida pode ser utilizada após a execução da obra para futuras inspeções e manutenções.

No entanto, apesar do crescimento de usuários, a MR ainda enfrenta desafios, como o posicionamento do modelo, o rastreamento de movimento, a seleção de objetos e a segurança do usuário (por se tratar de uma tecnologia imersiva).

REFERÊNCIAS

[1] ALVES, R. et al. Aplicação dos conceitos da qualidade no processo de execução de armaduras para estruturas de concreto armado na construção civil. In: XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 10., 2009. Salvador.

[2] SAAR, C. et al. Integration in augmented reality model. International Journal of Technology. v. 10, n. 7, p. 1266-1275, fev. 2019. DOI: https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i7.3278

[3] CUONG, N. et al. Developing a mixed-reality based application for bridge inspection and maintenance. In: THE 20TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTION APPLICATIONS OF VIRTUAL REALITY (CONVR 2020). 10., 2020. Middlesbrough. Middlesbrough: Teesside University. 2020.

[4] FREITAS, M.; RUSCHEL, R. Aplicação de realidade virtual e aumentada em arquitetura, Arquitetura revista. v. 6, n. 2, p. 127-135 dec. 2010. DOI: https://doi.org/10.4013/arq.2010.62.04

[5] SCOPUS. Start exploring. 2024. Disponível em: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic>. Acesso em: 16 junho 2024

[6] CHI, H. L. et al. Rebar inspection integrating augmented reality and laser scanning. Automation in Construction. v. 136, n. 104183, abr. 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104183

[7] CUONG, N. et al. Developing mixed reality-based digital twin model for bridge maintenance system. In: THE 22ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTION APPLICATIONS OF VIRTUAL REALITY (CONVR 2022), 11., 2022, Seul. Seul: Chung-Ang University. 2022.

[8] MARTINS, A. et al. BIM-based mixed reality (MR) application in bridge inspection. Automation in Construction. v 168, n. 105775, dez. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105775

[9] CARDOSO, M. Você usaria óculos de realidade mista? 2024. Disponível em: <https://image.portaldacidade.com/unsafe/https://bucket.portaldacidade.com/blumenau.portaldacidade.com/img/news/2024-02/voce-usaria-oculos-de-realidade-mista-65cced51646cb.png>. Acesso em: 19 junho 2024.

[10] CAVALCANTE, D. Em breve, qualquer drone poderá oferecer realidade aumentada. 2015. Disponível em: <https://www.tudocelular.com/curiosidade/noticias/n52519/drones-poderao-exibir-vídeos-realidade-aumentada.html>. Acesso em: 19 junho 2024.

[11] ALLPLAN. What is Bimplus? Bimplus: The ultimate openBIM collaboration platform. 2024. Disponível em: <https://www.allplan.com/products/allplan-bimplus/>. Acesso em: 03 novembro 2024.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Rotinas de programação para automação de projeto de cortinas atirantadas

Programming routines for automation of anchored retaining wall projects

Vitor Lucas Bernardo Ferreira | Sondotécnica | vitor.ferreira@sondotecnica.com.br
Kevin Maurício Guedes Silva | Sondotécnica | kevin.mauricio@sondotecnica.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14479449

Resumo

A tecnologia tem transformado profundamente a construção civil, especialmente em projetos de infraestrutura complexos, como as cortinas atirantadas, amplamente utilizadas em rodovias para contenção de encostas e taludes. Esses projetos exigem diversas etapas manuais, desde a modelagem geométrica até a análise estrutural e a documentação, o que pode gerar gargalos no processo devido a erros humanos e longos tempos de execução. Nesse contexto, a automação surge como uma solução eficaz para otimizar esses procedimentos, reduzindo o tempo de trabalho e aumentando a precisão e a eficiência dos projetos. Este estudo propõe o desenvolvimento de rotinas em Dynamo para automatizar o projeto de cortinas atirantadas, utilizando ferramentas da Autodesk, como Revit e Civil 3D, em conjunto com linguagens de programação, como Python e Linguagem de Programação Visual. O método utilizado foi a Pesquisa Construtiva (*Design Science Research* - DSR). Foi desenvolvido um artefato na forma de algoritmo que visa a otimizar o processo de projeto de cortinas atirantadas. Para tal, o seguinte procedimento foi adotado: (i) desenvolvimento de rotinas para referenciar os elementos do projeto de geometria e pavimentação do Civil3D no Revit; (ii) geração da modelagem da geometria da parede cortina; (iii) inserção da malha de tirantes nos painéis e (iv) geração da documentação do projeto. Como resultados, a primeira rotina permitiu reproduzir o alinhamento geométrico das pistas, com todas as inclinações, elevações e camadas especificadas no projeto de pavimentação com dados do Civil3D para o Revit. A segunda rotina possibilitou a modelagem da parede cortina de acordo com a topografia e subdividiu a geometria em painéis conforme o comprimento especificado. A terceira rotina automatizou o processo de inserção da malha de tirantes nos painéis. E a última rotina, automatizou a inserção da numeração nos painéis e tirantes e rotulou-os com os respectivos nomes. A adoção de rotinas automáticas trouxe um aumento significativo na velocidade de execução dos projetos, permitindo que tarefas que antes demandavam dias ou até semanas fossem concluídas em poucas horas, com uma redução aproximada de 50% a 60% no tempo total de desenvolvimento do projeto. Isso resultou em entregas mais rápidas e eficientes. Um dos principais avanços desse processo foi a integração eficaz entre o Revit e o Civil 3D, que possibilitou o uso de dados de geometria e pavimentação em um ambiente unificado. Essa convergência facilitou o desenvolvimento de projetos de contenção e aumentou a precisão, minimizando as discrepâncias entre as plataformas. Além disso, a automação da criação de vistas e da numeração de elementos trouxe um impacto direto na eficiência da documentação dos projetos. Embora as versões mais recentes do Revit ainda não ofereçam suporte nativo para gerar vistas planificadas de paredes, a solução automatizada preencheu essa lacuna, sendo uma contribuição valiosa para melhorar a produtividade. Em suma, a automação permitiu que etapas que antes demandavam grande esforço manual fossem realizadas de forma rápida e confiável, resultando em maior produtividade e qualidade na entrega dos projetos de contenção rodoviária.

Palavras-chave: Infraestrutura. Projeto de Contenções. Dynamo. Programação. Automatização.

Abstract

Technology has profoundly transformed construction, especially in complex infrastructure projects like anchored retaining walls, widely used in highways for slope stabilization. These projects involve various manual steps, from geometric modeling to structural analysis and documentation, leading to bottlenecks due to human errors and lengthy execution times. Automation emerges as an effective solution to optimize these processes, reducing work time and increasing accuracy and efficiency. This study proposes developing routines in Dynamo to automate the design of anchored retaining walls using Autodesk tools like Revit and Civil 3D, alongside programming languages such as Python and Visual Programming Language. The Design Science Research (DSR) method was used to develop an algorithm to optimize the design process. Key procedures included referencing geometry elements, modeling the wall geometry, inserting the anchor mesh, and generating project documentation. The automation increased project execution speed by 50-60%, leading to faster, more efficient deliveries. Overall, automation allowed for quicker, reliable processes, enhancing productivity and quality in highway retaining wall projects.

Keywords: Infrastructure. Retaining Wall. Dynamo. Programming. Automation.

INTRODUÇÃO

BIM (*Building Information Modeling*) traz benefícios em todas as fases do ciclo de vida dos empreendimentos. No entanto, a maturidade das pesquisas em BIM para infraestrutura é significativamente menor quando comparada à de edificações [1].

O surgimento de novas ferramentas aliado à ascensão do uso de modelos BIM, tem impulsionado os profissionais e pesquisadores do setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) a buscar métodos que possam contribuir para agilizar a modelagem e obter melhores resultados dentro dos seus fluxos de trabalho [2].

O desenvolvimento de projetos de infraestrutura complexos, como as cortinas atirantadas, amplamente utilizadas em rodovias para contenção de encostas e taludes, exigem diversas etapas manuais, desde a modelagem geométrica até a análise estrutural e a documentação, o que pode gerar falhas no processo devido a erros humanos e longos tempos de execução. Nesse contexto, a automação surge como uma solução eficaz para otimizar esses procedimentos, reduzindo o tempo de trabalho e aumentando a precisão e a eficiência dos projetos.

Este estudo propõe o desenvolvimento de rotinas em Dynamo para automatizar o projeto de cortinas atirantadas, utilizando ferramentas da Autodesk, como Revit e Civil 3D, em conjunto com linguagens de programação, como Python, e softwares open-source. A automação permitirá que etapas que antes demandavam grande esforço manual sejam realizadas de forma rápida e confiável, resultando em uma maior produtividade e qualidade na entrega dos projetos de contenção rodoviária.

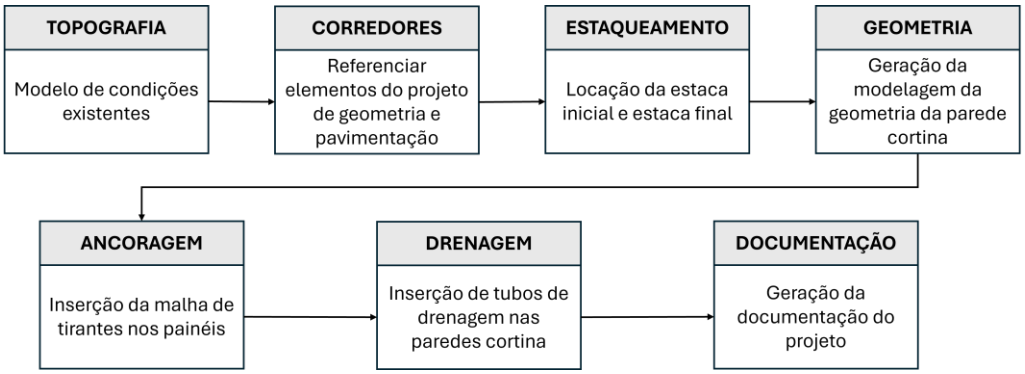
METODOLOGIA

O método utilizado foi a Pesquisa Construtiva (*Design Science Research* - DSR), que visa a buscar uma solução para um determinado problema [3].

Foi desenvolvido um artefato na forma de algoritmo que visa a otimizar o processo de projeto de cortinas atirantadas. Para tal, o seguinte procedimento foi adotado: (i) modelagem das condições existentes; (ii) desenvolvimento de rotinas para referenciar os elementos do projeto de geometria e pavimentação do Civil3D no Revit; (iii) rotina para locação das estacas inicial e final; (iv) geração da modelagem da geometria da parede cortina; (v) inserção da malha de tirantes nos painéis; (vi) inserção de tubos de drenagem nas paredes cortina e (vii) geração da documentação do projeto.

As etapas de trabalho foram distribuídas e organizadas em blocos conforme mostra o fluxograma de desenvolvimento na Figura 1.

Figura 1: Etapas de desenvolvimento das rotinas de programação



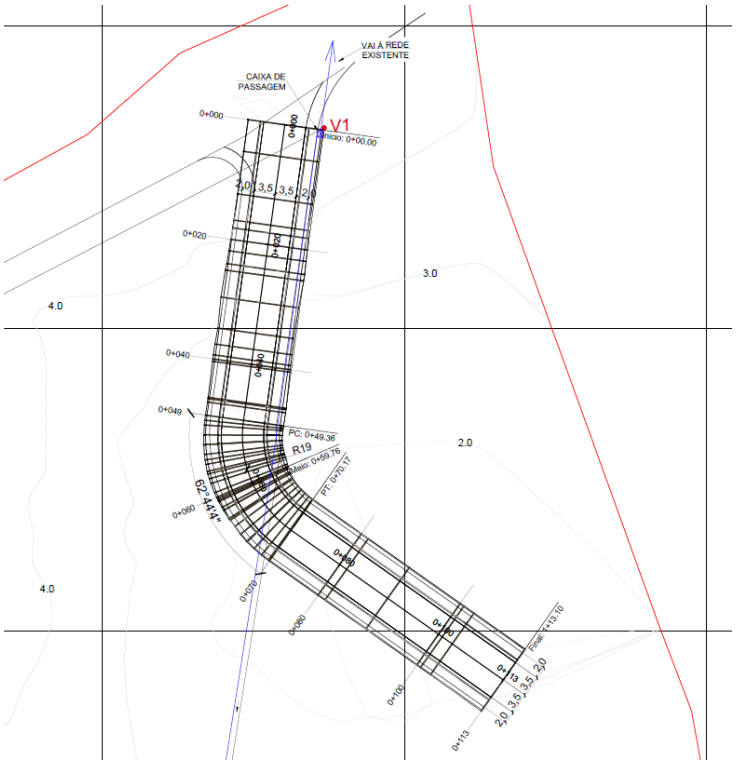
Fonte: os autores.

As rotinas desenvolvidas foram compiladas em um plug-in para Revit, desenvolvido com o auxílio do Dynamo e compilado pelo PyRevit.

CONDIÇÕES EXISTENTES

O modelo de condições existentes é uma etapa inicial de projeto muito importante para desenvolvimento de projetos de contenção em rodovias. Na Figura 2, é possível observar um exemplo de modelo geométrico de uma rodovia modelada no software Autodesk Civil3D.

Figura 2: Modelo geométrico de rodovia



Fonte: os autores.

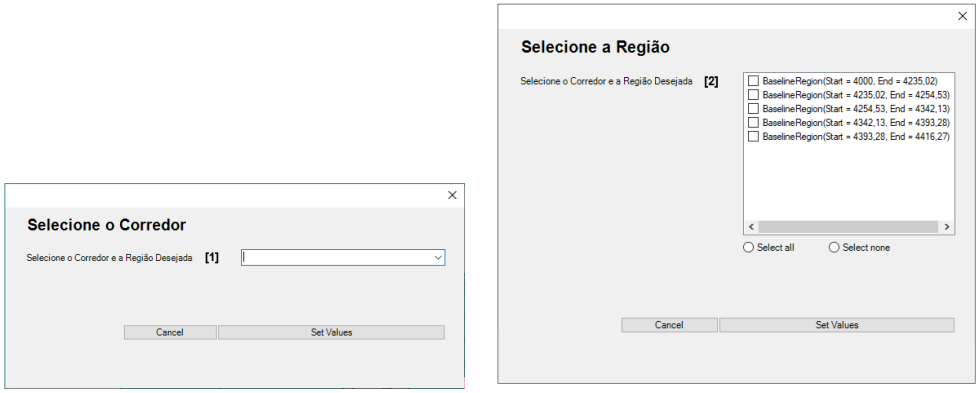
O modelo de condições existentes é de grande importância para projetos deste segmento sendo fundamental para todo o processo. A partir da modelagem da superfície topográfica foram desenvolvidas as automações descritas a seguir.

ROTINA DE CORREDORES

A rotina de corredores teve como objetivo exportar os elementos do projeto de geometria e pavimentação do software Civil3D para o software Revit. Os elementos exportados foram: o alinhamento geométrico das pistas, com todas as inclinações, elevações e camadas especificadas no projeto.

Para executar a programação foi utilizada a interface apresentada na Figura 3, onde é preciso especificar o corredor e região do corredor, que se deseja exportar para o Revit. Após o fornecimento dos dados de entrada, a rotina de programação inicia a modelagem do corredor na região selecionada.

Figura 3: Interface para seleção do corredor e região do corredor



Fonte: os autores.

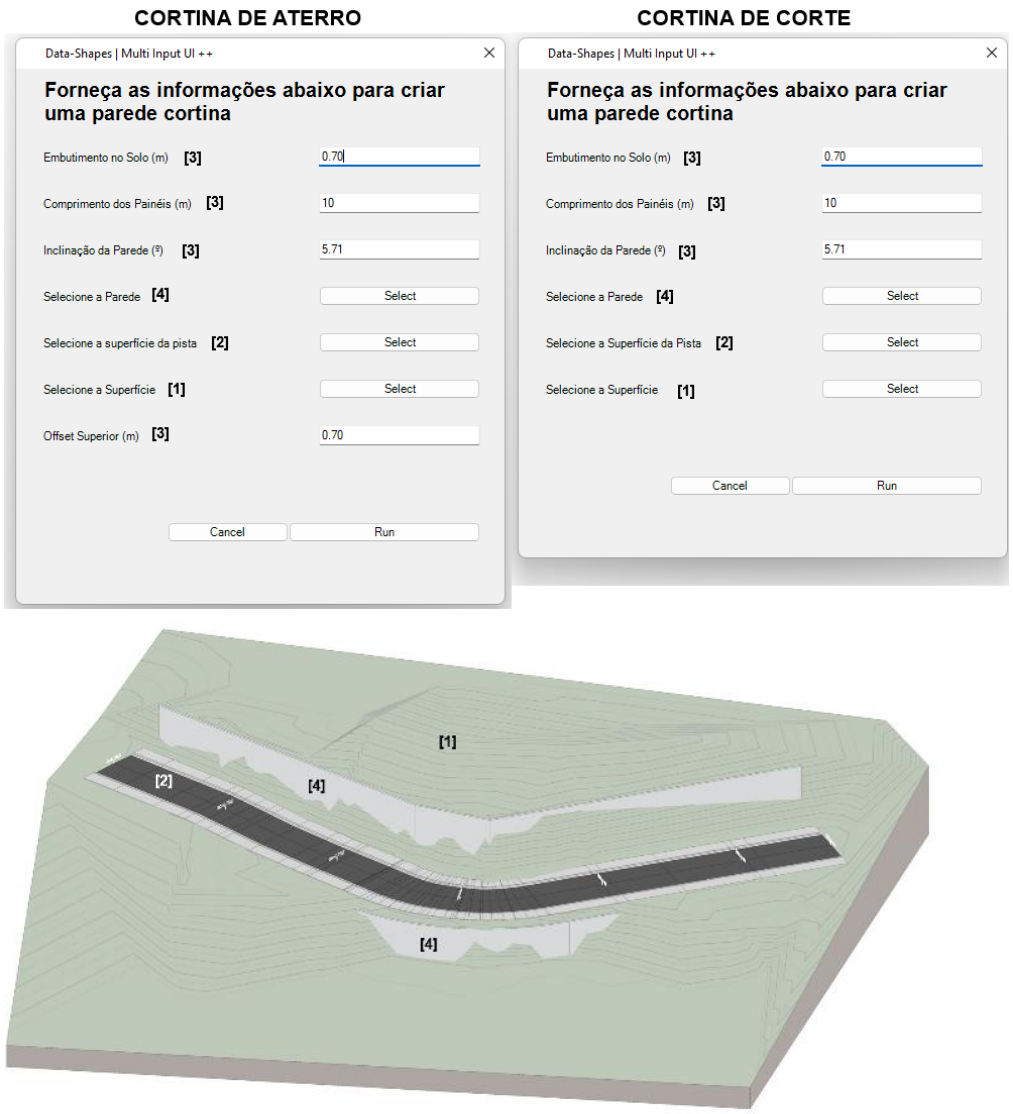
ROTINA DE GEOMETRIA

As rotinas no bloco “geometria” têm como objetivo gerar a modelagem da geometria da parede cortina. As entradas desta rotina são: a superfície do terreno natural (1) e a superfície da rodovia (2), derivadas do Civil3D. Além disso, devem ser informados os dados referentes aos painéis (3), e uma parede previamente modelada (4), conforme visto na Figura 04.

Essa parede deve ser posicionada na região onde a cortina será implantada. Inicialmente, essa parede não precisa seguir fielmente a geometria final da cortina, o foco está em sua localização correta. Esse elemento provisório serve como uma referência espacial que será ajustada e aprimorada nas etapas subsequentes de modelagem, conforme os cálculos executados pelas rotinas e a partir das entradas fornecidas.

A rotina de programação então irá subdividir os painéis em segmentos de reta com o comprimento especificado, e cada segmento terá sua geometria determinada em função da topografia local, garantindo que a contenção siga o relevo natural do terreno.

Figura 4: Interface dos parâmetros de entrada das rotinas de geometria



Fonte: os autores.

ROTINAS DE ANCORAGEM

As rotinas desenvolvidas para o painel “ancoragem” têm como principal objetivo automatizar a inserção da malha de tirantes no painel selecionado. Essas rotinas utilizam como dados de entrada diversos elementos para a correta disposição dos tirantes no modelo estrutural.

O primeiro dado de entrada é a face do painel (1), que serve como referência principal para a distribuição dos tirantes. Essa face delimita a área onde os tirantes serão posicionados. Em seguida, os dados específicos do tirante (2), como comprimento, diâmetro e inclinação, são considerados para assegurar que cada tirante atenda aos requisitos técnicos do projeto.

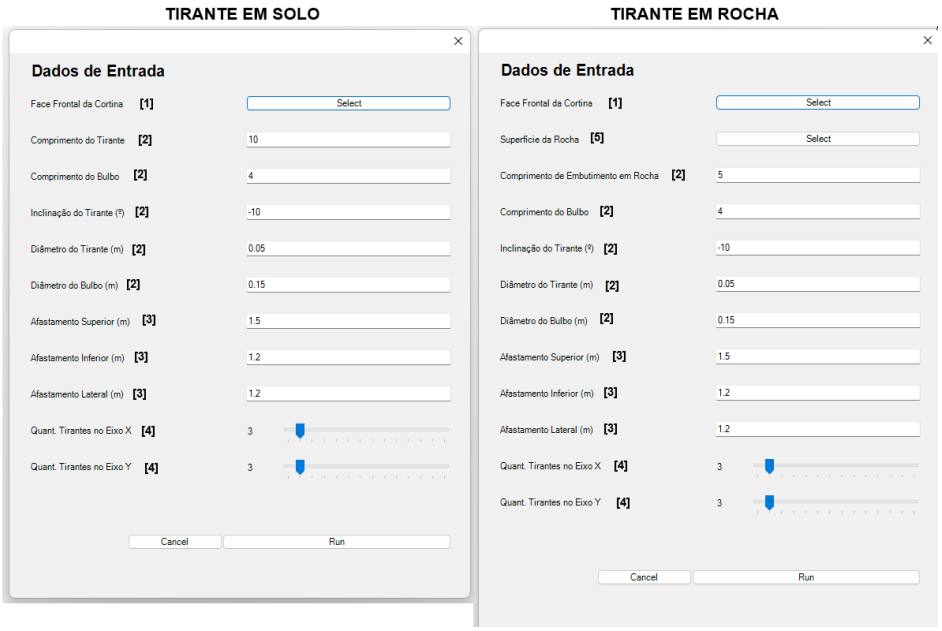
Outro dado importante é o offset em relação à borda do painel (3), que define a distância entre as bordas do painel e os tirantes, garantindo que eles estejam corretamente posicionados dentro dos limites especificados.

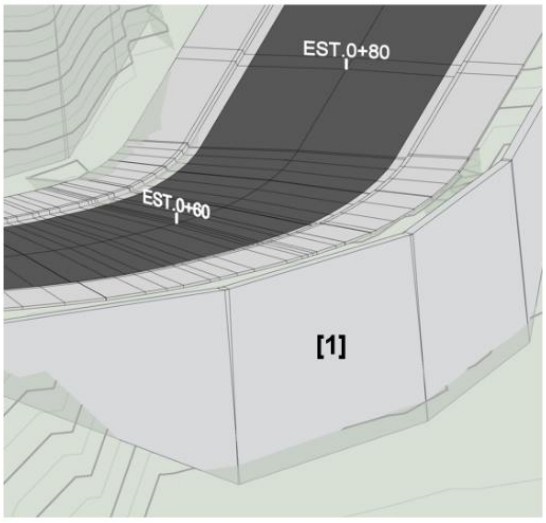
A quantidade de tirantes (4) é outro parâmetro-chave, uma vez que essa informação define a densidade da malha de ancoragem no painel. Com base nesse dado, a rotina calcula a distribuição dos

tirantes de maneira uniforme ou conforme padrões pré-estabelecidos, ajustando a disposição conforme as necessidades estruturais do projeto.

No caso específico de tirantes em rocha, a superfície da rocha (5) é um dado adicional. A rotina calcula o comprimento necessário do tirante para atingir a superfície rochosa. Os dados de entrada podem ser vistos na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**.

Figura 5: Interface dos parâmetros de entrada das rotinas de ancoragem





Fonte: os autores.

ROTINAS DE ESTAQUEAMENTO

Nos projetos de contenção, são comumente solicitadas as informações de estaca inicial e estaca final da obra para a correta locação em campo. Para este objetivo, foram desenvolvidas duas rotinas de programação para atender a esta solicitação.

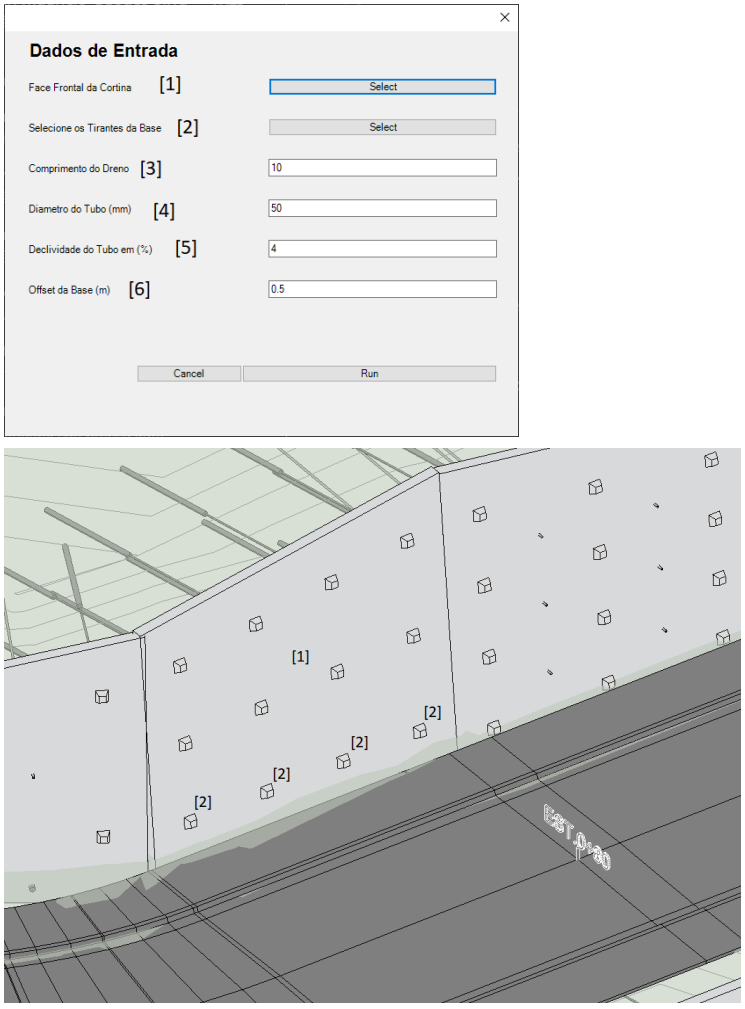
A primeira programação escreve o estaqueamento do projeto no modelo em questão. Inicialmente, seleciona-se o corredor do Civil3D para reprodução no Revit. Ao final da execução, textos em 3D são vinculados à posição de cada estaca do projeto geométrico.

A segunda ferramenta desenvolvida no âmbito de locação escreve a posição do painel em relação ao alinhamento do Civil3D. A programação busca a linha de locação do elemento e projeta no alinhamento mais próximo, obtendo a estaca do alinhamento.

ROTINAS DE DRENAGEM

As rotinas destinadas à disciplina de drenagem foram desenvolvidas com o objetivo de inserir tubos de drenagem nas paredes da cortina, permitindo a drenagem do interior do solo das contenções. Essas rotinas focam na automatização da inserção de dois tipos de drenos comumente utilizados em obras de contenção: os "Barbacãs" e os Drenos Horizontais Profundos (DHP). A Figura 6 ilustra os dados de entrada necessários para a rotina funcionar. Ao final da execução, consolida-se no modelo os dispositivos de drenagem horizontal profunda.

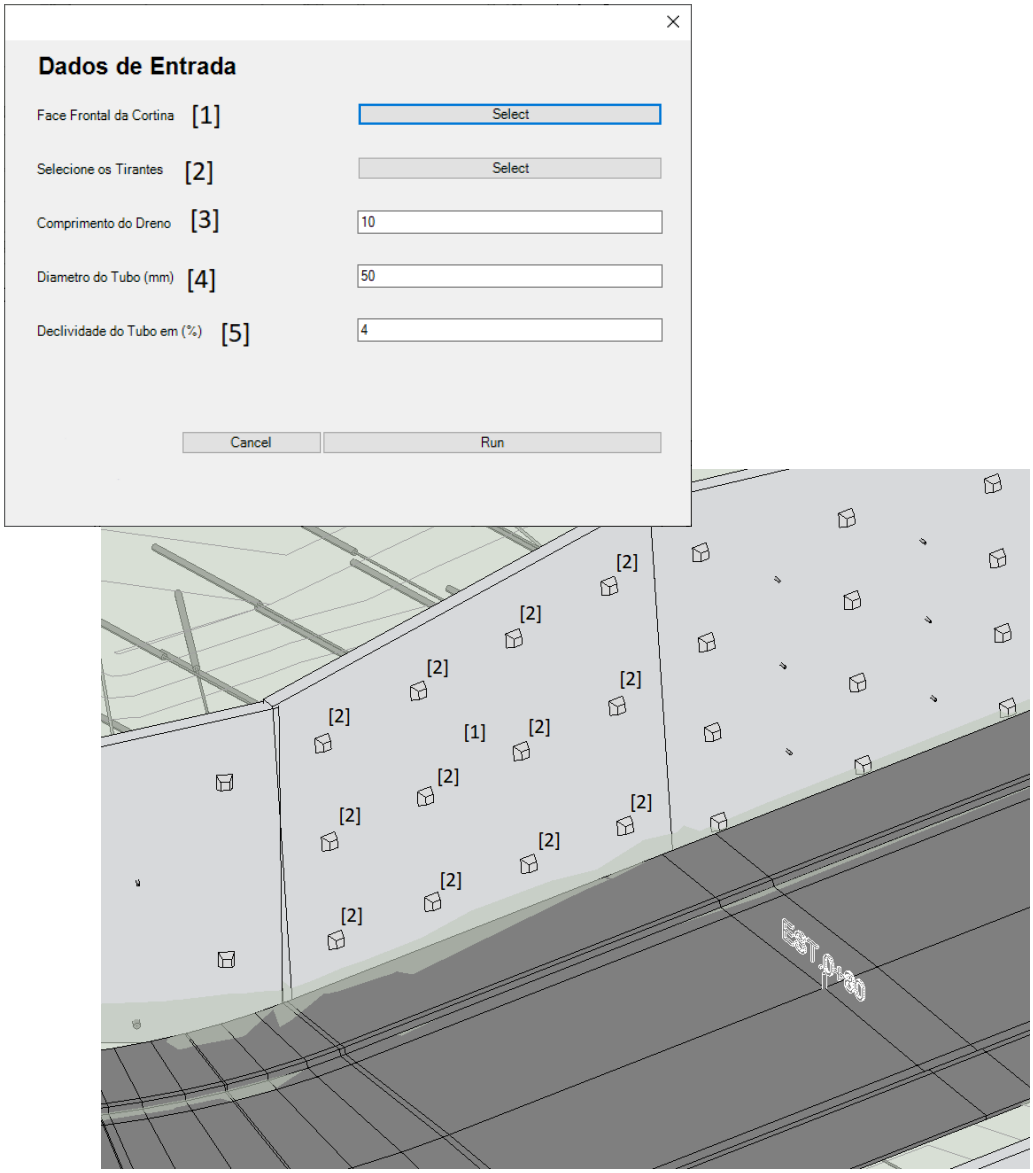
Figura 6: Interface dos parâmetros de entrada da rotina de inserção de DHP



Fonte: os autores.

A outra ferramenta relativa ao Barbacã funciona de maneira similar, porém desta vez é necessário selecionar os seguintes itens para a ferramenta: face frontal da cortina (1), selecionar os tirantes da cortina (2), comprimento do dreno (3), diâmetro do tubo (4) e declividade do tubo (5). A Figura 7 ilustra os dados de entrada necessários para a rotina funcionar.

Figura 7: Interface dos parâmetros de entrada da rotina de inserção de Barbacãs

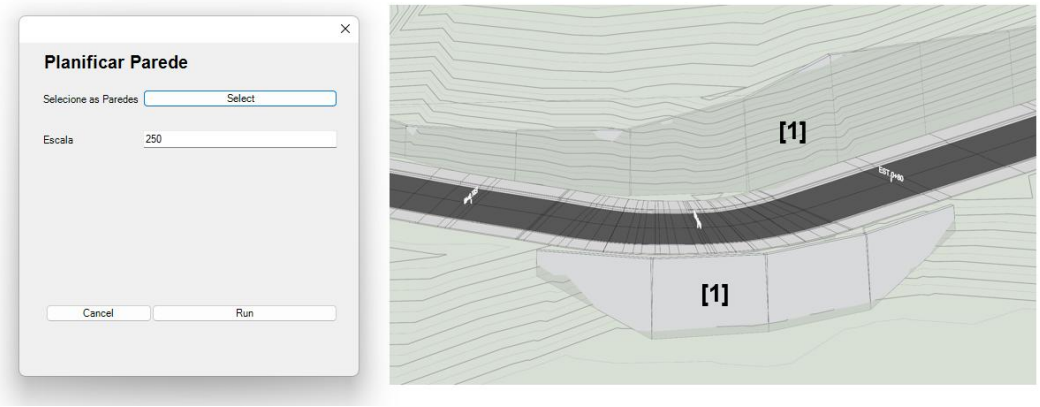


Fonte: os autores.

ROTINAS DE DOCUMENTAÇÃO

Com o modelo finalizado, foi desenvolvida uma rotina personalizada que automatiza o processo de geração de cortes paralelos a cada painel de contenção. Essa rotina cria um corte específico para cada painel do modelo e posiciona as vistas diretamente nas pranchas, de acordo com a organização do projeto. Além disso, as vistas já são geradas com a malha de coordenadas adequada e a identificação de cada painel, otimizando o tempo e garantindo que todas as informações necessárias estejam corretamente representadas na documentação. A rotina possui como entrada as paredes a serem planificadas (1) e a escala das vistas (2). A Figura 8 ilustra as entradas da rotina.

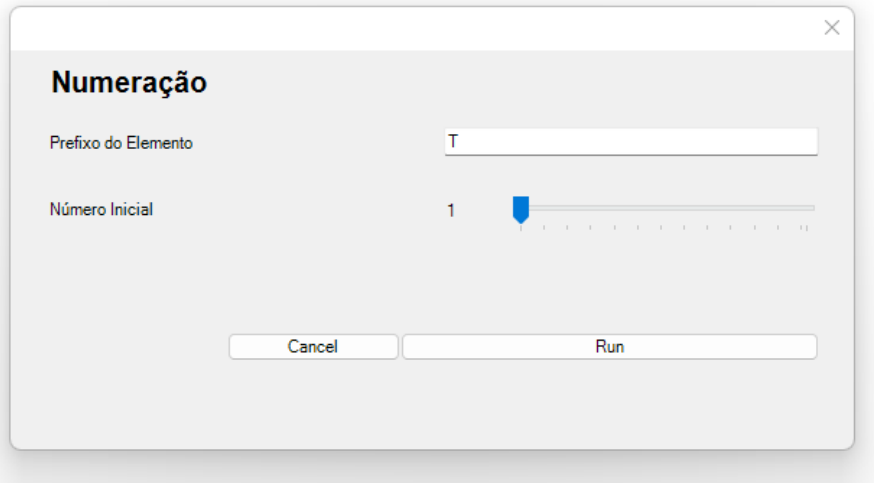
Figura 8: Interface dos parâmetros de entrada da rotina de documentação



Fonte: os autores.

Outra rotina desenvolvida para documentação é a de numeração dos elementos, conforme a Figura 9. A rotina de numeração possui como entrada o prefixo dos elementos que se deseja numerar (1) e o número inicial (2). Após executada, a rotina solicita ao usuário a seleção dos elementos na ordem desejada. Essa rotina pode ser usada para numerar tanto os painéis, como os tirantes. Além disso, se a vista no qual a rotina está sendo executada for uma vista 2D, a rotina cria um rótulo com o nome do elemento.

Figura 9: Interface dos parâmetros de entrada da rotina de numeração de elementos



Fonte: os autores.

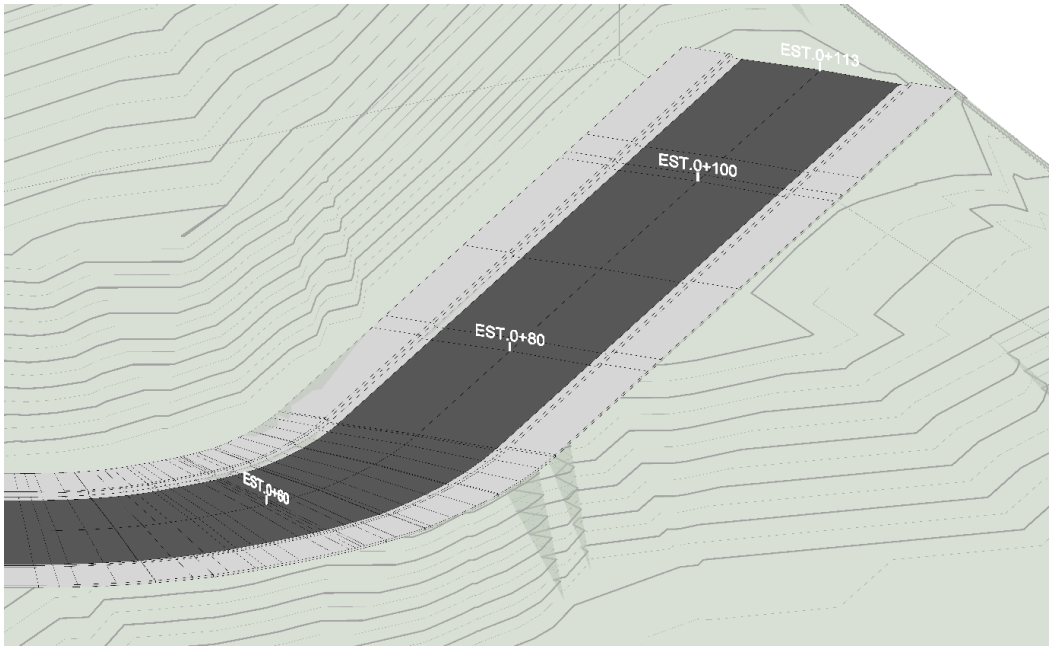
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de cada rotina estão apresentados a seguir.

RESULTADO DAS ROTINAS DE CORREDORES

O resultado da exportação do Civil3D para o Revit por meio das rotinas pode ser observado na Figura 10, com todas as informações referentes ao projeto de geometria e pavimentação, além de criar o estaqueamento em 3D. Dessa forma, os dados topográficos e de infraestrutura da rodovia foram preservados com precisão, assegurando a continuidade das informações no fluxo de trabalho BIM.

Figura 10: Resultado da rotina de exportação do Civil3D para o Revit

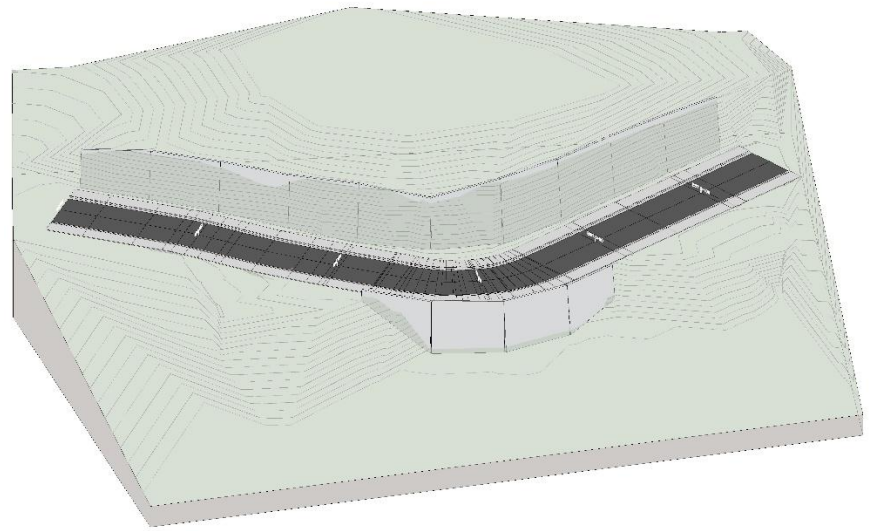


Fonte: os autores.

RESULTADO DAS ROTINAS DE GEOMETRIA

O resultado das rotinas de geometria pode ser visto na Figura 11, conforme observado na figura todos os painéis da contenção foram criados com sua devida geometria, respeitando o terreno natural e alinhamento da rodovia. Com os painéis definidos, o usuário tem a possibilidade de alterar os painéis caso necessário. Além disso, a facilidade de alteração e criação de novos painéis por esse método torna possível que mais alternativas de projetos sejam exploradas, levando a uma maior otimização do projeto.

Figura 11: Resultado da rotina de criação dos painéis

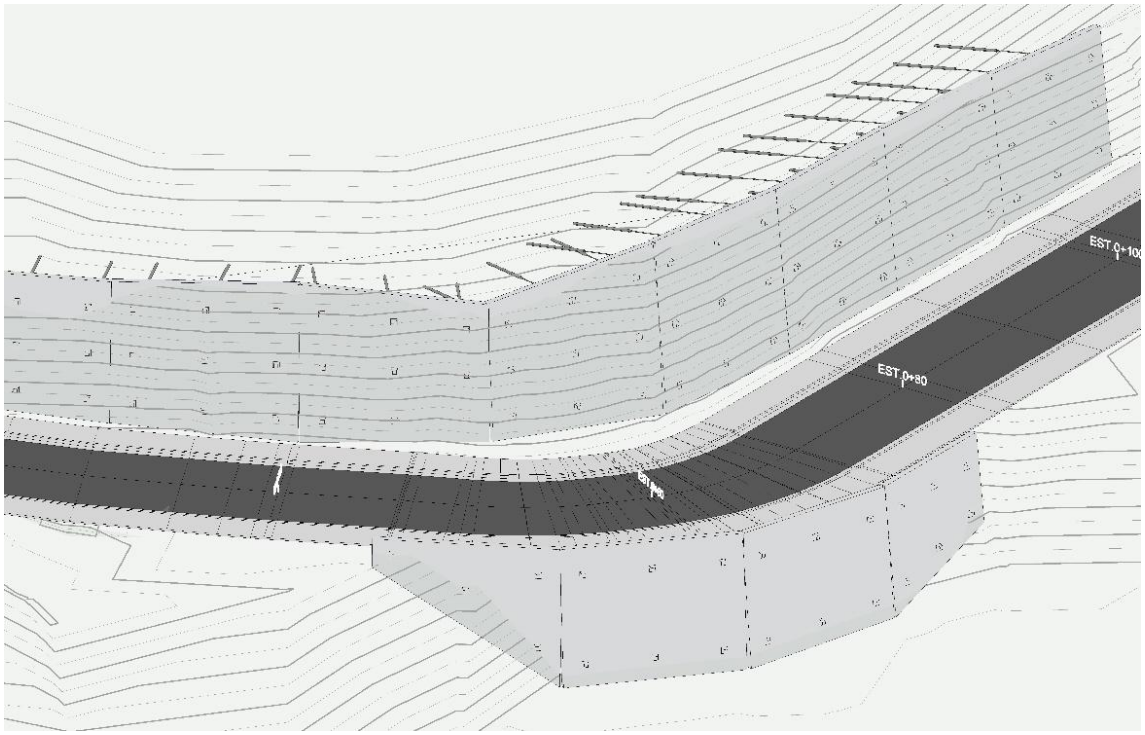


Fonte: os autores.

RESULTADO DAS ROTINAS DE ANCORAGEM

O resultado da rotina de inserção de tirantes pode ser visto na Figura 12. Com os tirantes inseridos torna-se mais fácil a modificação da malha e dos parâmetros do tirante (como o comprimento) caso necessário.

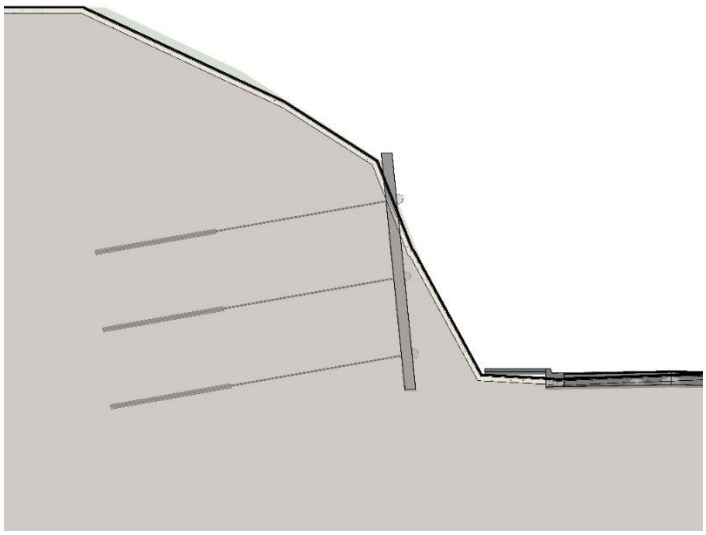
Figura 12: Resultado da rotina de lançamento de tirantes



Fonte: os autores.

Além disso, outro resultado da modelagem dos tirantes é a possibilidade de extrair seções transversais diretamente do modelo, conforme visto na Figura 12. Seções que podem ser exportadas em DWG e inseridas em modelos de cálculo em softwares de dimensionamento geotécnico.

Figura 13: Seção extraída do modelo



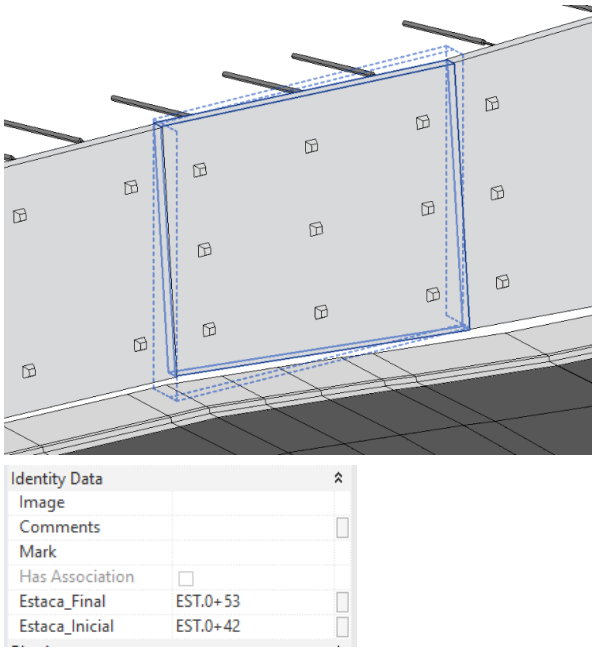
Fonte: os autores.

Caso a topografia exportada do Civil3D possua mais de uma camada de solo, elas apareceriam na seção, tornando possível que o engenheiro avalie o posicionamento dos tirantes.

RESULTADO DAS ROTINAS DE ESTAQUEAMENTO

O resultado desta automação é a identificação automática das estacas inicial e final de cada painel, conforme Figura 14. Essa funcionalidade, além de agilizar o processo de documentação, garante que as estacas que delimitam o início e o fim de cada painel sejam claramente identificadas no modelo. A automação também minimiza o risco de erros humanos ao eliminar a necessidade de marcações manuais, proporcionando maior precisão e confiabilidade na definição dessas referências.

Figura 14: Estacas inseridas nos parâmetros do painel



Identity Data	
Image	
Comments	
Mark	
Has Association	☐
Estaca_Final	EST.0+53
Estaca_Inicial	EST.0+42

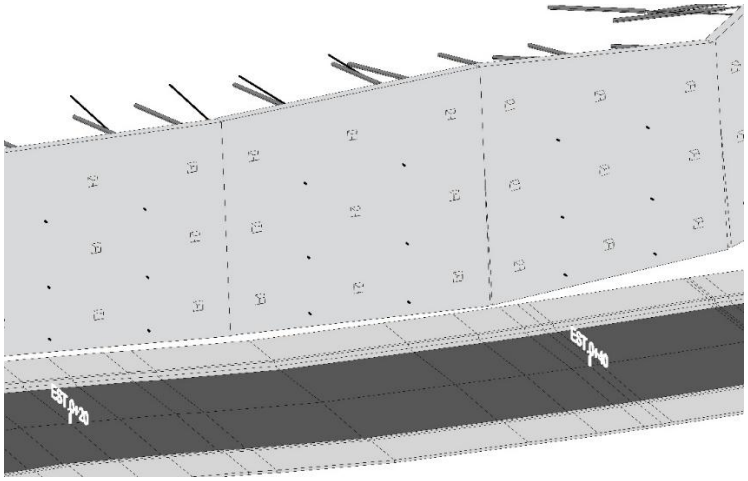
Fonte: os autores.

RESULTADO DAS ROTINAS DE DRENAGEM

Os resultados das rotinas de drenagem exibem os dispositivos de drenagem superficial de painéis, conforme ilustra a

Figura 15. Os barbacãs foram inseridos corretamente no ponto médio entre os tirantes, e os drenos horizontais profundos, na posição indicada na rotina. Além disso, o fato de os drenos serem inseridos como tubos nativos do Revit, facilita a correta categorização dos elementos no modelo BIM e a inserção dos parâmetros necessários.

Figura 15: Drenos inseridos

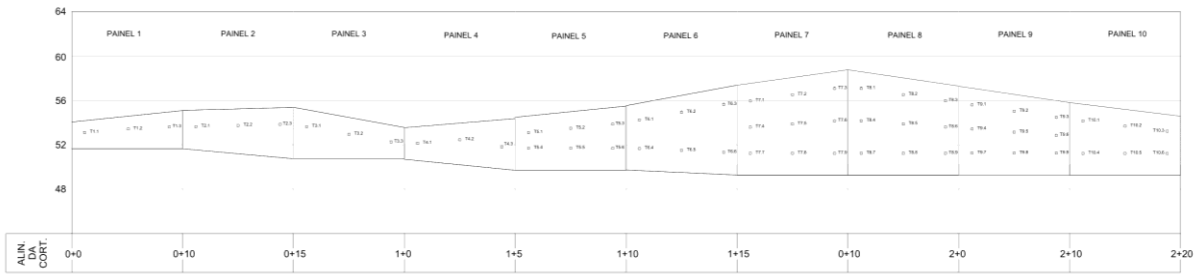


Fonte: os autores.

RESULTADO DAS ROTINAS DE DOCUMENTAÇÃO

A rotina gerará de forma automática todas as vistas e anotações conforme demonstrado na Figura 16. A rotina também criou o rótulo dos tirantes na vista. Além disso, a malha de coordenadas já foi gerada com os valores corretos de elevação e estaqueamento.

Figura 16: Resultado das rotinas de documentação



Fonte: os autores.

CONCLUSÃO

A adoção de rotinas automáticas trouxe um aumento significativo na velocidade de execução dos projetos, permitindo que tarefas que antes demandavam dias ou até semanas fossem concluídas em

poucas horas, com uma redução aproximada de 50% a 60% no tempo total de desenvolvimento do projeto. Isso resultou em entregas mais rápidas e eficientes.

Um dos principais benefícios desse processo foi a integração eficaz entre o Revit e o Civil 3D, que permite o uso de dados de geometria e pavimentação em um ambiente unificado. Essa convergência não só simplificou o desenvolvimento de projetos de contenção, mas também aumentou a precisão, minimizando discrepâncias entre as plataformas e garantindo que as informações fossem mantidas consistentes ao longo de todo o processo de modelagem e documentação.

Além disso, a automação da criação de vistas e da numeração de elementos teve um impacto direto na geração da documentação dos projetos. Embora as versões mais recentes do Revit ainda não ofereçam suporte nativo para gerar perfis planificados de elementos lineares, como as paredes, a solução automatizada desenvolvida preencheu essa lacuna.

O *plug-in* desenvolvido para o Revit com as rotinas, possibilitou a criação de um ambiente de trabalho integrado, onde os usuários podem acessar facilmente todas as funcionalidades desenvolvidas, utilizando uma interface amigável e intuitiva. Isso é particularmente vantajoso para colaboradores que não possuem familiaridade com a programação em Python ou com o Dynamo, uma vez que poderão acessar e utilizar todas as funcionalidades do plug-in diretamente a partir da interface do Revit. Além disso, o processo de desenvolvimento em blocos modulares facilita a manutenção e atualização contínua do plug-in, permitindo que novas funcionalidades sejam integradas de maneira eficiente e organizada ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

[1] CORRÊA, S. L. M. et al. BIM para infraestrutura de transportes. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, v. 2, p. 1–8, 19 ago. 2019.

[2] LOPES, I. T. et al. Automação da modelagem BIM a partir de nuvens de pontos: uma revisão sobre métodos e técnicas. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 14, p. e023010–e023010, 19 maio 2023.

[3] LACERDA, D. P. et al. Design Science Research : método de pesquisa para a engenharia de produção. Gestão & Produção, v. 20, p. 741–761, 2013.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

ScrapBIM: inovação na gestão de custos em construção através do BIM

ScrapBIM: Innovation in Cost Management in Construction through

Maria Clara de Faria Reis Bento | UFJF| mariaclarafrb@gmail.com
Igor Teodoro Oliveira | UFJF| igor.teodoro@estudante.ufjf.br
Rafael Bonioli Kneip | UFJF| rafael.kneip@estudante.ufjf.br
Stephanie Mendes Trufa | UFJF| mendesstephanie36@gmail.com
Maria Fernanda Pinheiro Assunção | UFJF| mfpassuncao@gmail.com

DOI: 10.5281/zenodo.14479465

Resumo

A Modelagem da Informação da Construção (do inglês, *Building Information Modeling*, BIM) revolucionou a indústria Arquitetura, Engenharia, Operações e Construção (AECO), oferecendo modelos digitais detalhados que integram diversas informações sobre um projeto, podendo otimizar processos, incluindo a orçamentação. A orçamentação tradicional é um processo complexo e demorado, sujeito a erros e imprecisões, porém a riqueza de dados dos modelos BIM possibilita a integração dos modelos com *plugins* e ferramentas de apoio. Neste cenário, este trabalho apresenta o ScrapBIM, um algoritmo que utiliza do poder de aplicações web scraping e a riqueza de informações dos modelos BIM para recolher de websites de *e-commerce* o preço de materiais de construção, facilitando a análise orçamentária conduzida por seu usuário. A web scraping é uma técnica de coleta de dados sistêmica de determinado *website* e torna-se possível pois as informações apresentadas aos usuários encontram-se guardadas dentro da Linguagem de Marcação de Hipertexto (do inglês, *HyperText Markup Language,* HTML) da página, em regiões que podem ser acessadas de maneira específica com a utilização de um programa computacional. O programa foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Python, devido à sua versatilidade e, portanto, aplicabilidade em muitos processos conduzidos para a produção dos resultados. O ScrapBIM recebe tabelas de quantitativo oriundas do *software* BIM, que por sua vez, ditam os produtos que serão pesquisados. Além disso, os usuários podem adicionar termos de modo a produzir resultados mais condizentes com suas necessidades, além de termos que os produtos aos quais os preços serão buscados devem essencialmente conter. Os resultados coletados na pesquisa são organizados em um arquivo.csv, facilitando futuras etapas do processo de orçamentação. Essa automatização tem impacto significativo sobre esse processo, reduzindo a possibilidade de erros manuais e proporcionando uma base de dados mais completa para tomada de decisões. Testado utilizando os dados de um projeto sanitário acadêmico modelado em BIM, a ferramenta demonstrou sua funcionalidade de forma rápida e eficiente: o ScrapBIM conseguiu coletar 324 dados de descrição e preço de produtos utilizados no modelo BIM em pouco mais de um minuto, resultado inatingível com métodos tradicionais de pesquisa. Além disso, foi capaz de filtrar corretamente os produtos que possuíam o termo essencial informado pelo usuário. Embora ainda se encontre em fase de testes e com a necessidade de ajustes e funções adicionais, o ScrapBIM mostrou-se capaz de integrar informações precisas dos modelos BIM com a realização de buscas automáticas e rápidas em diferentes lojas *online* por meio do web-scraping, proporcionando um ganho significativo de tempo e recursos para os profissionais da construção civil. Dessa forma, os autores pretendem aprimorar continuamente o ScrapBIM. A expectativa é que a ferramenta se torne uma opção de grande valia para os orçamentistas, ampliando os benefícios do BIM na construção civil.

Palavras-chave: BIM. Orçamento. Gestão. Tecnologia. Planejamento.

Abstract

Building Information Modeling (BIM) has revolutionized the Architecture, Engineering, Construction, and Operations (AECO) industry by providing detailed digital models that integrate diverse project information, optimizing processes including budgeting. Traditional budgeting is a complex and time-consuming process, prone to errors and inaccuracies; however, the data in BIM models allows for integration with plugins and support tools. In this context, this paper presents ScrapBIM, an algorithm that leverages the power of web scraping applications and the rich information from BIM models to collect the prices of construction materials from e-commerce websites, facilitating budget analysis performed by its users. Web scraping is a systematic data collection technique from specific websites, made possible because the information presented to users is stored in HyperText Markup Language (HTML) of the page, in areas that can be accessed programmatically using a computational program. The ScrapBIM algorithm was developed using the Python programming language, known for its versatility and applicability in managing a wide range of processes necessary to produce results. ScrapBIM receives quantity tables from BIM software, dictating the products to be researched. Furthermore, users can add terms to yield results that are more aligned with their requirements, including essential terms that the products must contain for their prices to be searched. The results gathered through this process are organized into a .csv file, facilitating subsequent stages of the budgeting process. This automation significantly impacts the budgeting process by reducing the likelihood of manual errors and providing a more comprehensive database for decision-making. When tested with data from an academic BIM-modeled sanitary project, the tool demonstrated its functionality quickly and efficiently: ScrapBIM was able to collect 324 pieces of product description and pricing data used in the BIM model in just over a minute, a result unattainable with traditional research methods. Additionally, it effectively filtered the products containing the essential terms specified by the user. Although ScrapBIM is still in the testing phase and requires adjustments and additional functions, it has shown the capability to integrate accurate information from BIM models with automatic and rapid searches across various online stores through web scraping, resulting in significant time and resource savings for construction professionals. Consequently, the authors aim to continually enhance ScrapBIM. The expectation is that this tool will become a valuable resource for estimators, thereby expanding the benefits of BIM in the construction industry. In summary, ScrapBIM represents a noteworthy advancement in the budgeting processes within the AECO sector, capitalizing on both BIM data and automated web scraping to facilitate more accurate and efficient cost estimations. As the adoption of BIM technology continues to expand, tools like ScrapBIM are set to play a crucial role in helping project managers and estimators make well-informed decisions based on the most up-to-date market prices, ultimately leading to better project outcomes. Future developments may include refining the algorithm, creating more user-friendly interfaces, and ensuring compatibility with a wider range of e-commerce platforms, reinforcing ScrapBIM's position as an essential tool in modern construction practices.

Keywords: BIM. Budget. Management. Technology. Planning.

INTRODUÇÃO

A Modelagem da Informação da Construção (do inglês *Building Information Modeling*, BIM) se destaca por sua capacidade de transformar processos. O BIM permite a criação de modelos digitais detalhados que representam não apenas a geometria das edificações, mas também suas propriedades físicas e funcionais. Isso proporciona uma visão holística e integrada do projeto, facilitando a coordenação entre arquitetos, engenheiros, construtores e gestores de obra, colaborando para a mitigação de uma série de desafios inerentes ao setor AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações) [1].

Entre esses desafios, os custos de obra são uma preocupação. Todos os empreendimentos da construção civil começam com uma estimativa de custo, sendo o orçamento uma das tarefas mais importantes do setor [2]. Além de assegurar o controle financeiro, a previsão de gastos facilita decisões estratégicas, o planejamento de prazos e a transparência nas operações com clientes e fornecedores. A tarefa de orçamentação exige, além do conhecimento técnico, o conhecimento da legislação profissional, da legislação tributária e fiscal, bem como um amplo conhecimento do mercado de materiais e de mão-de-obra [3].

No entanto, esse processo apresenta alguns desafios, podendo ser complexo e demorado, exigindo um levantamento detalhado de quantidades e cotações. O levantamento de quantitativos, tradicionalmente realizado manualmente com auxílio de softwares, tende a ser tedioso e moroso, especialmente na transferência de medições para planilhas eletrônicas [4].

Estimativas imprecisas de custos, rigidez para alterações e limitações à inovação são desafios comuns. Além disso, mudanças externas como variações econômicas podem impactar significativamente os custos planejados, e a comunicação eficaz entre todas as partes envolvidas também pode ser um desafio. Possíveis erros ou omissões na documentação resultam em custos imprevistos, atrasos na entrega da obra e, em casos extremos, litígios entre os agentes envolvidos [1].

Gerenciar esses aspectos é crucial para garantir a viabilidade econômica e o sucesso dos projetos de construção

Com sua riqueza de dados e possibilidades de integração com diferentes softwares, os modelos BIM possibilitam a utilização de plugins ou dos seus dados para a construção de ferramentas de apoio não nativas nos softwares de modelagem para o aprimoramento da gestão do processo construtivo.

De fato, dentre as dimensões BIM, isto é, dentre os diferentes tipos de dados vinculados ao modelo, autores já exploraram possibilidades acerca de ferramentas paralelas de apoio às dimensões de planejamento [5], orçamento [6], sustentabilidade [7] e operação e manutenção [8], respectivamente a quinta, sexta, sétima e oitava dimensões BIM. Assim, a construção e/ou utilização dessas ferramentas corrobora com uma visão mais rica e detalhada do projeto.

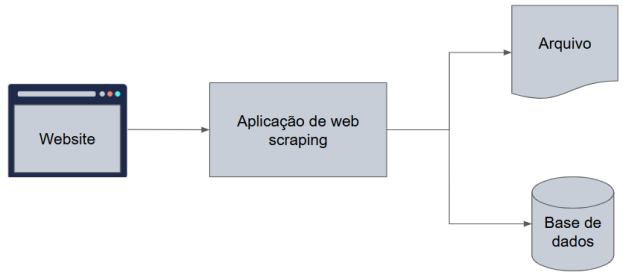
Tendo em visto este cenário, onde têm-se, por um lado, a complexidade do processo de orçamentação e, por outro, a possibilidade de criação de ferramentas de apoio e a riqueza de informação de uma construção proporcionada pelo uso do BIM, o objetivo deste trabalho é apresentar os resultados parciais de um algoritmo desenvolvido em Python que utiliza da técnica web scraping para a automatização da etapa de busca de preços em orçamentos de um modelo construtivo: o ScrapBIM.

METODOLOGIA

A combinação de aplicações *web scraping* e dados da construção para o desenvolvimento de robustas ferramentas já é conhecida [9][10], expandindo as dimensões das análises dos modelos BIM. No que diz respeito ao comércio virtual de materiais de construção, embora dificuldades ainda precisem ser superadas [11], a expectativa de crescimento desse setor no Brasil é promissora [12], o que corrobora para o desenvolvimento da aplicação aqui apresentada.

Em um *website*, a Linguagem de Marcação de Hipertexto (do inglês *HyperText Markup Language,* HTML) determina como as informações serão apresentadas para o usuário, organizando e estruturando o conteúdo da página da web [13]. A web scraping é uma técnica de coleta de dados sistêmica de determinado site [14], que simula a interação do usuário, extraindo as informações almejadas de regiões específicas do HTML de maneira automatizada. A Figura 1 representa um esquema de um algoritmo genérico de *web scraping.*

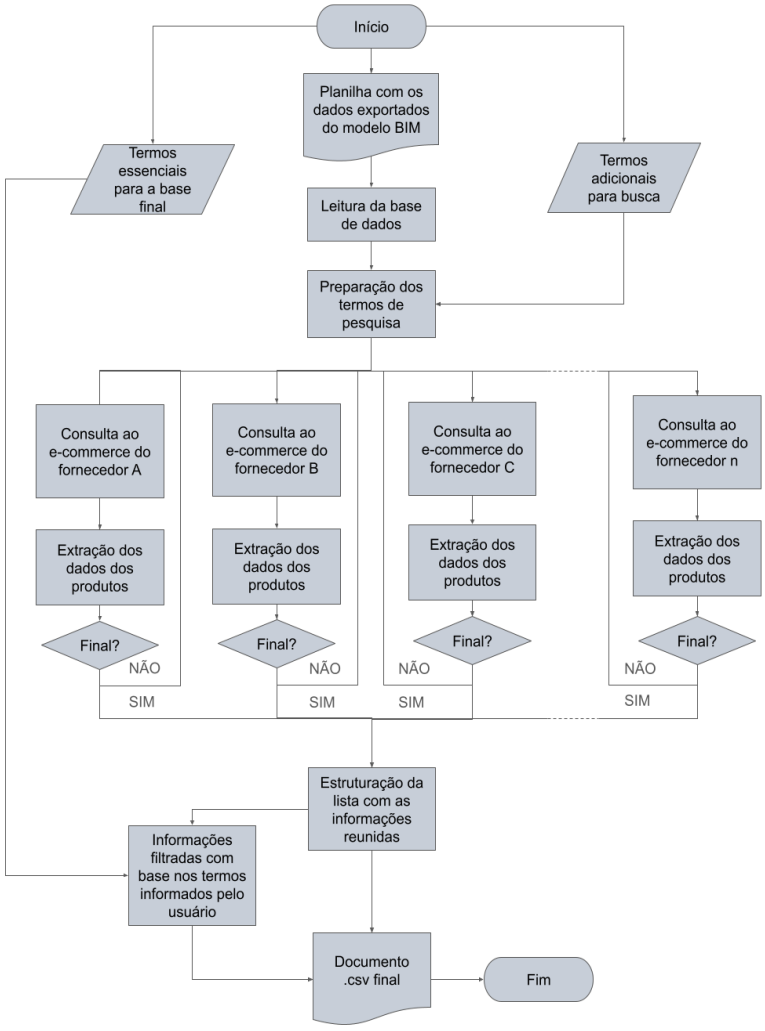
Figura 1: Algoritmo genérico de web scraping.



Fonte: Adaptado de [15].

O ScrapBIM é uma aplicação desenvolvida em Python, uma linguagem de programação de alto nível, gratuita e extremamente versátil, que pode ser aplicada para a resolução de uma vasta série de problemas [16]. A versão do programa aqui apresentada é sua versão alfa, que, embora não seja a versão final a ser amplamente distribuída, atende as especificações definidas anteriormente, sendo testada por clientes específicos [17], como será discutido posteriormente. A imagem abaixo apresenta um fluxograma que representa a versão atual do código.

Figura 2: Fluxograma do ScrapBIM.



Fonte: Autores, 2024.

O ScrapBIM foi construído para lidar com uma tabela de quantitativo genérica. O programa organiza a base de dados por tipo de elemento, removendo menções duplicadas. A descrição de cada elemento será utilizada para a busca on-line. Para facilitar a ação e obter melhores resultados, o usuário pode escolher termos adicionais a serem incluídos para cada conjunto de dados inseridos no projeto. As informações inseridas serão reunidas com a descrição da família para formar o termo que será, então, buscado.

Para cada combinação dos termos, são gerados endereços para o acesso a diferentes e-commerces. Como mencionado, para que a aplicação da técnica de *web scraping* seja possível, é necessário que se entenda o funcionamento da página de interesse e que as regiões do HTML que guardam as informações desejadas sejam conhecidas.

Cada *e-commerce* acessado pelo programa foi analisado durante o desenvolvimento do código, sendo identificadas quais são as classes dos elementos que guardam as informações do nome dos produtos e seu preço, que são, então, recolhidas e armazenadas. Esse procedimento deu-se de modo a proporcionar um programa menos suscetível a eventuais mudanças no *website*, que poderiam modificar outros localizadores que não as classes, comprometendo o funcionamento.

Em sua versão atual, as buscas são realizadas em três *e-commerces* diferentes, escolhidos com base em critérios de popularidade e variedade de catálogo, permitindo que diferentes materiais pudessem ser buscados em um mesmo *website*. Entretanto, para além da busca mais genérica por classes, outro importante aspecto foi utilizado no programa: a paralelização das funções.

No código, o recolhimento das informações de cada *e-commerce* é realizado dentro de uma função, que é executada de forma paralela em relação às outras buscas. Tais escolhas de projeto são importantes, pois, enquanto a utilização de funções permite uma manutenção e ampliação do código de maneira mais organizada e pontual, sem alterações em demais partes funcionais, a paralelização permite que mais atividades sejam realizadas ao mesmo tempo, implicando na possibilidade de expansão dos *e-commerces* adotados, o que, por sua vez, geraria uma base de dados mais rica para a análise orçamentária.

Terminado o processo de recolhimento das informações, o ScrapBIM gera um arquivo .csv com as informações oriundas das buscas.

O arquivo trás em colunas, o nome do produto no *site*, seu preço, o termo ao qual faz referência no modelo BIM e o nome do *e-commerce* de onde as informações foram retiradas. Deve-se notar que essas listas provenientes da extração da informação do site podem conter dados de produtos que não correspondem aos produtos de interesse do usuário, o que é um resultado comum em buscas *on-line*. Dessa forma, cada elemento da lista é analisado de forma a garantir que contenha os termos essenciais que foram definidos pelo usuário anteriormente.

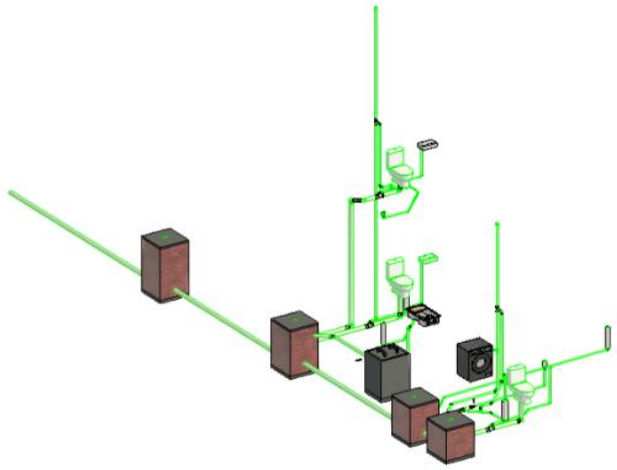
RESULTADOS: UM ESTUDO DE CASO

Para a realização deste exemplo de orçamentação, que consiste em um teste da versão alfa do ScrapBIM, foi utilizado um projeto sanitário desenvolvido pela Liga Acadêmica de *Building Information Modeling* e Novas Tecnologias (LABIM) da Universidade Federal de Juiz de Juiz de Fora (UFJF). Este teste é focado no orçamento dos tubos de PVC, amplamente utilizados em sistemas sanitários residenciais.

O primeiro passo envolveu a conclusão do projeto sanitário no ambiente BIM. Esse processo incluiu a modelagem detalhada de todo o sistema de tubulações, assegurando que todas as especificações técnicas e funcionais fossem corretamente implementadas. A precisão do modelo é fundamental para

garantir que os quantitativos extraídos sejam exatos. Para tal, os modeladores adotam um *plug-in* disponibilizado livremente por um fornecedor para a especificação de peças e tubulações.

Figura 3: Vista 3D do projeto sanitário



Fonte: Autores (2024).

Após a conclusão do projeto, a tabela de quantitativos foi exportada do *software* BIM. Uma parte da tabela pode ser vista na Figura 4.

Figura 4: Parte da tabela de quantitativos de tubos PVC gerada a partir do modelo

A	B	C	D	E	F	G
Diâmetro	**Comprimento**	Manufacturer	Description	**Descrição do produto**	**Código do Portfólio**	**Norma**
40.0 mm	1.22	Amanco Brazil	Esgoto	TUBO ESG SN DN40X3M	**10474**	NBR 5688/NBR 8160
40.0 mm	0.14	Amanco Brazil	Esgoto	TUBO ESG SN DN40X3M	**10474**	NBR 5688/NBR 8160
40.0 mm	0.35	Amanco Brazil	Esgoto	TUBO ESG SN DN40X3M	**10474**	NBR 5688/NBR 8160
40.0 mm	0.06	Amanco Brazil	Esgoto	TUBO ESG SN DN40X3M	**10474**	NBR 5688/NBR 8160
40.0 mm	0.55	Amanco Brazil	Esgoto	TUBO ESG SN DN40X3M	**10474**	NBR 5688/NBR 8160
40.0 mm	0.14	Amanco Brazil	Esgoto	TUBO ESG SN DN40X3M	**10474**	NBR 5688/NBR 8160
40.0 mm	0.35	Amanco Brazil	Esgoto	TUBO ESG SN DN40X3M	**10474**	NBR 5688/NBR 8160
40.0 mm	0.83	Amanco Brazil	Esgoto	TUBO ESG SN DN40X3M	**10474**	NBR 5688/NBR 8160
40.0 mm	0.03	Amanco Brazil	Esgoto	TUBO ESG SN DN40X3M	**10474**	NBR 5688/NBR 8160
40.0 mm	0.66	Amanco Brazil	Esgoto	TUBO ESG SN DN40X3M	**10474**	NBR 5688/NBR 8160
40.0 mm	1.17	Amanco Brazil	Esgoto	TUBO ESG SN DN40X3M	**10474**	NBR 5688/NBR 8160
40.0 mm	0.45	Amanco Brazil	Esgoto	TUBO ESG SN DN40X3M	10474	NBR 5688/NBR 8160

Fonte: Autores (2024).

Para além da tabela, o teste foi realizado com o fornecimento do termo adicional “pvc”, relacionado ao material do qual o produto buscado é tradicionalmente feito e informação não encontrada na sua descrição, e do termo essencial “esgoto”, referente a aplicação final desses produtos.

O ScrapBIM foi capaz de obter 324 resultados e salvá-los no arquivo .csv em 64,81 segundos, consideravelmente menor que o tempo necessário para a obtenção de todas essas informações de forma convencional, com consultas isoladas e manuais aos *websites*. A base dos produtos que possuíam o termo essencial consistia em 120 resultados e foi gerada dentro do mesmo intervalo de tempo mencionado.

Figura 5: Parte dos resultados obtidos com o ScrapBIM

(a) Parte dos resultados gerais

Tubo Pvc Eletroduto Roscavel Krona 1 Polegada 3m	R$ 36,62	TUBO ESG SN DN20X3M	Fornecedor A
Tubo Metalon De Pvc 20x30 3,00 Mts Zapinplast 6 Un	R$ 106,47	TUBO ESG SN DN20X3M	Fornecedor A
Tubo Flexivel PVC 50mm 50M	R$ 2.319,00	TUBO ESG SN DN20X3M	Fornecedor A
Tubo de PVC Formato O Branco 10x10x300cm Odem	R$ 199,90	TUBO ESG SN DN20X3M	Fornecedor A
Tubo Ligaçao C/spud Pvc Sanfonado Branco Censi 7290	R$ 16,11	TUBO ESG SN DN20X3M	Fornecedor A
Cano PVC para Esgoto 100mm ou 4" 3m Tigre	R$ 45,90	TUBO ESG SN DN20X3M	Fornecedor A
Cano PVC para Esgoto 50mm ou 2" 3m Tigre	R$ 45,90	TUBO ESG SN DN20X3M	Fornecedor A
Cano PVC para Esgoto 40mm	R$ 23,90	TUBO ESG SN	Fornecedor A

(b) Parte dos resultados que incluem o termo essencial informado pelo usuário

Cano PVC para Esgoto 100mm ou 4" 3m Tigre	R$ 45,90	TUBO ESG SN DN20X3M	Fornecedor A
Cano PVC para Esgoto 50mm ou 2" 3m Tigre	R$ 45,90	TUBO ESG SN DN20X3M	Fornecedor A
Tubo PVC Esgoto 100mm 6 metros Branco Fortlev	R$ 59,90	TUBO ESG SN DN20X3M	Fornecedor B
Tubo PVC Esgoto 200mm 6 metros Branco Fortlev	R$ 353,43	TUBO ESG SN DN20X3M	Fornecedor B
Tubo PVC Esgoto 50mm 6	R$ 43,68	TUBO ESG SN	Fornecedor B

Fonte: Autores (2024).

Dessa forma, o programa foi capaz de produzir resultados condizentes com os esperados durante seu desenvolvimento: os preços dos produtos foram obtidos com base na riqueza de dados do modelo BIM e critérios fornecidos pelos usuários, produzindo um relatório em forma de arquivo .csv em um curto intervalo de tempo, mas com um grande número de opções essenciais para a ação orçamentária.

CONCLUSÕES

A utilização do BIM para o planejamento e orçamentação de projetos se mostra cada vez mais presente dentro da área da construção civil. Associados a uma técnica poderosa como *web scraping*, os dados oriundos desses modelos podem ser fundamentais para avanços da dimensão 5D. Neste trabalho, o programa ScrapBIM foi apresentado como uma ferramenta de apoio na decisão orçamentária, obtendo de forma rápida e precisa preços de materiais de construção por meio de dados do modelo e critérios do usuário.

A primeira aplicação do ScrapBIM mostrou-se útil em não só apresentar resultados esperados, mas por destacar caminhos importantes para o desenvolvimento do software. Na base final, não são incluídos custos de fretes, que podem ser limitantes para compras virtuais. Além disso, pode ser importante para análise final a realização do cálculo do preço de cada produto, com base na metragem já oriunda da base de dados proveniente do software BIM. É importante destacar que o software foi testado apenas em um projeto de caráter educacional e a base de dados contava com um número de

elementos pequenos. Nesse sentido, testes com projetos maiores podem ainda revelar outros possíveis pontos de melhoria.

Os autores esperam continuar o desenvolvimento e aprimoramento do software aqui introduzido, bem como a condução de novos e constantes testes para a descoberta de outras lacunas. Dessa forma, espera-se que o ScrapBIM se torne uma importante ferramenta de apoio para orçamentistas, representando mais um dos vastos benefícios relacionados à utilização do BIM na construção civil.

REFERÊNCIAS

[1] EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. 3ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2021.

[2] KIM, H. et al. Generating construction schedules through automatic data extraction using open BIM (Building Information Modeling) technology. Automation in Construction, v. 35, p. 285–295, 2013.

[3] TISAKA, M. Orçamento na construção civil: consultoria, projeto e execução. 2ª. ed. São Paulo: PINI, 2011.

[4] ALDER, M. A. Comparing time and accuracy of Building Information Modeling to onscreen take off for a quantity takeoff on a conceptual estimate. Dissertação (Master of Science). School of Technology Brigham Young University, 2006.

[5] DOUKARI, Omar; SECK Boubacar; GREENWOOD David. The Creation of Construction Schedules in 4D BIM: A Comparison of Conventional and Automated Approaches. Buildings, 2022, v. 12, n. 8, p. 1145. DOI: 10.3390/buildings12081145. Disponível em: https://www.mdpi.com/2075-5309/12/8/1145. Acesso em: 25 de outubro de 2024.

[6] HUSSAIN, O. A. I. et al. Minimizing Cost Overrun in Rail Projects through 5D-BIM: A Conceptual Governance Framework. Buildings, 2024 v. 14, n. 2, p. 478. DOI: 10.3390/buildings14020478. Disponível em: https://www.mdpi.com/2075-5309/14/2/478. Acesso em: 19 de outubro de 2024.

[7] PRASTOWO, Ferdiansyah Ibnu; HUSIN, Albert Eddy. Zero Energy Office based on BIM 6D. In: AIP Conference Proceedings. Depok, Indonésia. v. 2710, n. 1, p. 090019, 6 fev 2024. DOI: 10.1063/5.0144543. Disponível em: https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2710/1/090019/3261300/Zero-energy-office-based-on-BIM-6D Acesso em: 26 de outubro de 2024.

[8] GHONEIM, Ahmed. The Integration of BIM in Facility Management using AR/VR. 2021. Tese (Mestrado). The Integration of BIM in Facility Management using AR/VR. Disponível em: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/511736/Ghoneim_thesis_300721.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Acesso em: 20 de outubro de 2024.

[9] HONG, Hee-Sim; LEE, Seul-Ki; YU, Jung-Ho. Automated management of green building material information using web crawling and ontology. Automation in Construction, v. 102, p. 230-244. jun. 2019. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.01.015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580518303571. Acesso em: 26 de outubro de 2024.

[10] ATENCIO, E. et al. Integrating Web-Based Weather Data into Building Information Modeling Models through Robot Process Automation. Applied Sciences, v. 14, n. 19, p.9109-9109, 9 out. 2024. DOI: 10.3390/app14199109. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-3417/14/19/9109. Acesso em: 25 de outubro de 2024.

[11] JUNIOR. I. C. L. et al. Impactos na capacidade de transporte com a implementação do e-commerce em uma empresa de materiais de construção. Revista de Administração, Sociedade e Inovação, v. 10, n. 3, p.137-160, 2024. DOI: 10.20401/rasi.10.3.938. Disponível em: https://www.rasi.vr.uff.br/index.php/rasi/article/view/938/221. Acesso em: 18 de outubro de 2024.

[12] VELOSO, Geórgia; TOBLER, Rodolpho. Com novo indicador, FGV IBRE sinaliza patamar de vendas online do comércio. Blog do IBRE, 16 nov. 2023. Disponível em: https://blogdoibre.fgv.br/posts/com-novo-indicador-fgv-ibre-sinaliza-patamar-de-vendas-online-do-comercio. Acesso em: 18 de outubro de 2024.

[13] GUR, I.; NACHUM, O.; MIAO, Y.; SAFDARI, M.; HUANG, A.; CHOWDHERY, A.; NARANG, S.; FIEDEL, N.; FAUST, A. Understanding HTML with large language models. arXiv:2210.03945v2 [cs.LG], 2023. Disponível em: https://arxiv.org/pdf/2210.03945. Acesso em: 17 set. 2024.

[14] GLEZ-PEÑA, D.; LOURENÇO, A.; LÓPEZ-FERNÁNDEZ, H.; REBOIRO-JATO, M.; FDEZ-RIVEROLA, F. Web scraping technologies in an API world. Briefings in Bioinformatics, v. 15, n. 5, p. 788-797, set. 2014. DOI: https://doi.org/10.1093/bib/bbt026.

[15] KASEREKA, Henrys. Importance of web scraping in e-commerce and e-marketing. SSRN Electronic Journal, 30 dez. 2022. DOI: 10.6084/m9.figshare.13611395.v1. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347999311_Importance_of_web_scraping_in_e-commerce_and_e-marketing. Acesso em: 25 de outubro de 2024.

[16] PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. Python, 2024. General Python FAQ: What is Python? . Disponível em: https://docs.python.org/3/faq/general.html#what-is-python. Acesso em: 10 de outubro de 2024.

[17] SCHACH, Stephen R. Engenharia de Software-: Os Paradigmas Clássico e Orientado a Objetos. AMGH Editora, 2009.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Sistema de Monitoramento de Baixo Custo para Gêmeo Digital

Low-Cost Monitoring System for Digital Twin

João Pedro França e Carvalho| TPF Engenharia | joao.pedro@tpfe.com.br
Juliana Scanoni Silva | TPF Engenharia | juliana.silva@tpfe.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14479518

Resumo

A construção civil é um dos setores que menos utiliza os conceitos da Indústria 4.0. Grande parte de seus processos é manufaturada e, no canteiro de obras, há um baixo nível de adoção de novas tecnologias. A utilização de BIM (Building Information Modeling) nos projetos vem avançando ao longo do tempo, sendo mais aderente no mercado e contemplando as etapas de concepção, planejamento e execução; entretanto, as fases de operação e manutenção são normalmente negligenciadas. Uma forma de otimizar e avaliar esses ativos é por meio do monitoramento contínuo dos sistemas, a fim de inferir intervenções preventivas, e isso pode ser feito utilizando o conceito de gêmeos digitais. Com o advento de novos conceitos e tecnologias, surgem discussões acerca da definição desse objeto de estudo. Segundo Kritzinger et al. (2018), a representação de um objeto real a partir de um modelo virtual é denominada gêmeo digital, mas é necessário ter criticidade quanto às formas de troca de informações. Um dos pontos de discussão está relacionado à classificação da tecnologia em função dos níveis de informações incorporadas ao modelo. Alguns autores propõem três classificações de gêmeos digitais: modelo digital, que representa apenas a geometria do objeto e suas características; sombra digital, modelos virtuais alimentados com informações do ambiente físico; e o gêmeo digital propriamente dito, que funciona com um fluxo bidirecional de informações entre o objeto virtual e o real. Há um consenso acadêmico de que, para existir um gêmeo digital, deve ocorrer troca de informações entre o mundo virtual e o real; idealmente, isso deveria ocorrer em tempo real e de forma bidirecional. No entanto, em muitos ativos da construção civil, não é possível uma interação bidirecional entre a entidade física e virtual devido à natureza do objeto. Para construir uma réplica virtual, é necessário ter todas as informações visuais e de funcionamento do ativo físico. Na construção civil, essas informações podem ser obtidas por meio de modelos BIM "as built" ou da captura da realidade. Em relação aos dados de funcionamento, faz-se necessária uma rede de sensores que possa se conectar com o elemento virtual, a fim de caracterizar seu desempenho. Além disso, as informações necessárias para a verificação de uma obra podem exigir monitoramentos que, frequentemente, são dispendiosos e pouco atrativos. Diante disso, este artigo teve por objetivo demonstrar sobre a utilização de sistema de monitoramento de baixo custo, com autonomia e conectividade, para gêmeos digitais de obras de artes especiais. Dentro do fluxo de desenvolvimento, buscou-se compreender as limitações dos materiais utilizados para o propósito desejado, validar o funcionamento dos sensores na análise dinâmica e desenvolver um sistema de aquisição e processamento de dados como protótipo para futura implementação em estruturas reais. O equipamento de medição proposto utiliza dois acelerômetros MPU-6050 conectados a um ESP32, um microcontrolador responsável por receber as medições e enviá-las para o servidor local, que, neste caso, utiliza um Raspberry Pi 4. Os dados de medição são recebidos via comunicação TCP/IP, onde são armazenados e processados para análise dinâmica da estrutura avaliada. Esta solução atendeu ao critério de custo-benefício do sistema, possibilitando o desenvolvimento de um sistema de Monitoramento de Integridade Estrutural de baixo custo.

Palavras-chave: Gêmeos Digitais. Monitoramento. BIM. Operação. Manutenção

Abstract

The construction industry is one of the sectors that makes the least use of Industry 4.0 concepts. Much of its processes are still manually driven, and there is a low level of adoption of new technologies on construction sites. The use of BIM (Building Information Modeling) in projects has advanced over time, becoming more widespread in the market and covering the stages of design, planning, and execution; however, the phases of operation and maintenance are usually neglected. One way to optimize and assess these assets is through continuous monitoring of systems to infer preventive interventions, which can be achieved using the concept of digital twins. With the advent of new concepts and technologies, discussions arise regarding the definition of this study object. According to Kritzinger et al. (2018), the representation of a real object through a virtual model is called a digital twin, but it is necessary to be critical about the methods of information exchange. One point of discussion is related to the classification of the technology based on the levels of information incorporated into the model. Some authors propose three classifications for digital twins: digital model, which only represents the geometry of the object and its characteristics; digital shadow, virtual models fed with information from the physical environment; and the digital twin itself, which functions with a bidirectional flow of information between the virtual and real objects. There is academic consensus that for a digital twin to exist, there must be an exchange of information between the virtual and real worlds; ideally, this should happen in real-time and bidirectionally. However, in many construction assets, bidirectional interaction between the physical and virtual entities is not feasible due to the nature of the object. To build a virtual replica, it is necessary to have all visual and operational information about the physical asset. In construction, this information can be obtained through BIM "as-built" models or reality capture. Regarding operational data, a sensor network is needed that can connect to the virtual element to characterize its performance. Moreover, the information required for the verification of a structure may demand monitoring systems that are often costly and unattractive. Given this context, this article aims to demonstrate the use of a low-cost monitoring system with autonomy and connectivity for digital twins of special civil structures. Within the development flow, the aim was to understand the limitations of the materials used for the intended purpose, validate the functionality of sensors in dynamic analysis, and develop a data acquisition and processing system as a prototype for future implementation in real structures. The proposed measurement equipment uses two MPU-6050 accelerometers connected to an ESP32, a microcontroller responsible for receiving the measurements and sending them to the local server, which in this case uses a Raspberry Pi 4. The measurement data is received via TCP/IP communication, where it is stored and processed for dynamic analysis of the evaluated structure. This solution met the cost-effectiveness criterion of the system, enabling the development of a low-cost Structural Health Monitoring system.

Keywords: Digital Twins. Monitoring. BIM. Operation. Maintenance.

INTRODUÇÃO

Lopes [1] afirma que “embora interpretada como uma atividade secundária, a manutenção é essencial e inevitável, impactando diretamente na vida útil do edifício e em seu desempenho geral.” A falta de manutenção nos ativos de construção é especialmente evidente em obras de infraestrutura. No Brasil, um exemplo claro é a ausência de conhecimento técnico-científico aprofundado na avaliação das condições de estabilidade estrutural de pontes rodoviárias existentes. Geralmente, essas avaliações são realizadas por meio de inspeção visual apenas quando patologias se tornam aparentes, o que sempre exige a experiência e o conhecimento específico dos inspetores [2].

Entre as possibilidades de avaliação dos elementos estruturais, visando maior eficiência na previsão de manutenção, é possível determinar a integridade da estrutura através do Monitoramento de Integridade Estrutural (MIE), que busca avaliar a estrutura verificando as condições operacionais. A campanha de monitoramento visa compreender e validar o projeto com base nos resultados medidos [3].

Essa abordagem envolve sistemas de aquisição de dados que coletam informações em tempo real sobre o comportamento estrutural, permitindo a identificação de deformações, deslocamentos, vibrações, entre outros parâmetros. Os sistemas de monitoramento de integridade estrutural são

raramente utilizados devido à sua complexidade e ao alto custo envolvido na instalação de vários sensores e na interpretação de uma grande quantidade de dados. Com os avanços tecnológicos, como o desenvolvimento de sensores de baixo custo e o uso de equipamentos IoT (*Internet of Things* – Internet das Coisas), tornou-se possível criar sistemas de monitoramento de integridade estrutural mais acessíveis.

MONITORAMENTO DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL

A degradação da estrutura durante a operação pode comprometer sua funcionalidade, gerando insegurança para os usuários. Inspeções e monitoramentos podem auxiliar no processo de tomada de decisão do gestor, permitindo, após análise, liberar ou interromper seu uso, propor intervenções de reforço estrutural ou até mesmo condenar a estrutura atual [3]. Uma opção para certificar a integridade das estruturas seria através da resposta vibracional, que possibilita entender a variação de suas propriedades dinâmicas, como massa e rigidez, em função das cargas cíclicas ao longo do tempo. A resposta dinâmica pode ser medida por uma série de acelerômetros, analisada nos domínios do tempo e da frequência, para avaliar suas propriedades mecânicas; parâmetros como frequências naturais e modos de vibração orientam a análise na detecção de falhas estruturais [4].

Para realizar tais análises, é possível avaliar com base na excitação natural, por meio da Análise Modal Operacional (OMA). Sua principal característica é avaliar os parâmetros da estrutura com base na resposta vibracional [5]. Técnicas de OMA são de grande interesse para a avaliação de estruturas em operação, pois a metodologia não interfere no funcionamento delas, e não há necessidade de equipamentos especiais para gerar excitação forçada. No caso de estruturas de Engenharia Civil, essas circunstâncias são bastante importantes, pois permitem que a avaliação das características dinâmicas das estruturas seja realizada com custos significativamente reduzidos [6]. Dentro da metodologia OMA, existem duas abordagens para analisar o sinal medido, seja pela avaliação no domínio da frequência ou no domínio do tempo.

Os métodos no domínio da frequência são os mais antigos e se desenvolveram mais rapidamente, principalmente com a popularização da Transformada Rápida de Fourier (FFT) [5]. Os métodos que utilizam análise no domínio da frequência podem ser divididos em dois grupos: o método de seleção de picos e o método de decomposição no domínio da frequência.

O método de seleção de picos (PP) é baseado na construção da densidade espectral de potência média normalizada, permitindo a identificação de picos correspondentes à estimativa da frequência natural da estrutura. A técnica de Decomposição no Domínio da Frequência foi desenvolvida com base na Decomposição em Valores Singulares (SVD).

A matriz de densidade espectral é composta por funções autoespectrais, onde sua diagonal principal é composta pelos autovalores, representando o quadrado das frequências naturais obtidas, e a matriz é preenchida com os autovetores que representam a forma modal de cada frequência natural obtida [5].

Através dos métodos de análise, é possível obter alguns parâmetros relevantes para a avaliação da integridade estrutural. Segundo Rytter [7], “o uso de Indicadores de Danos (DI) fornece principalmente uma indicação qualitativa da existência de danos.” Os DIs são geralmente características da resposta dinâmica da estrutura ao evento avaliado. Exemplos de tais indicadores incluem frequência natural e formas modais. As frequências naturais são funções dos autovalores, geometria e material do elemento avaliado. Elas são consideradas indicadores de danos clássicos porque seus valores dependem diretamente da distribuição de rigidez e massa da estrutura. Sua popularidade se deve à facilidade e precisão na medição, onde sua variação pode indicar problemas diretamente relacionados

à vida útil da estrutura. Outro ponto importante desse parâmetro ocorre quando uma frequência natural não diminui enquanto outra sim, sendo um indicador de danos valioso, pois indica que o dano está localizado em um ponto nulo para a curvatura daquela forma modal [7]. As formas modais (ϕ) são os padrões de vibração da estrutura em suas frequências naturais. Elas oferecem informações detalhadas sobre a distribuição de massa e rigidez ao longo da estrutura. Mudanças nas formas modais podem destacar áreas específicas onde ocorreram modificações na massa ou rigidez, ajudando a identificar danos locais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do sistema de baixo custo, foram utilizados os seguintes componentes: o acelerômetro MPU-6050, o ESP32 para receber e enviar dados, um módulo adaptador de micro-SD para registrar as medições e o Raspberry Pi 4B, que funciona como um servidor local para salvar eventos e realizar as análises pertinentes. Para validar as leituras realizadas pelo sistema projetado, foi utilizado o acelerômetro Low g, que realiza medições unidirecionais e possui menor densidade de ruído.

VALIDAÇÃO DO SISTEMA

O desenvolvimento do sistema de monitoramento passou por várias etapas até alcançar o modelo final. Inicialmente, foram realizados testes em laboratório com modelos estruturais reduzidos para validar os dados obtidos. Posteriormente, o sistema foi testado em uma estrutura real como prova de conceito e, finalmente, foi prototipado.

O primeiro teste em laboratório foi conduzido utilizando um modelo de viga simplesmente apoiada, com o objetivo de entender o efeito da variação de massa por meio da adição de pesos, avaliando as mudanças nas frequências naturais. Para fins comparativos, as frequências medidas foram comparadas com as calculadas em um modelo de elementos finitos. A placa metálica utilizada possui uma seção retangular de 50 mm x 6 mm e um comprimento total de 1,51 m, estando apoiada em roletes metálicos. Foi considerado um módulo de elasticidade de 210 GPa para o aço.

Figura 1 - Primeiro teste no modelo estrutural reduzido



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

As medições foram realizadas após uma excitação causada pelo deslocamento no meio do vão, permitindo que a viga entrasse em vibração livre. Para este modelo estrutural, foram conduzidos cinco testes distintos. No primeiro teste, a viga foi testada sem nenhuma massa adicional, enquanto nos quatro testes subsequentes, massas foram adicionadas em diferentes posições.

Os dados foram obtidos com uma frequência de amostragem de 500 Hz, com leituras feitas pelo MPU-6050 em três posições estratégicas para capturar os três primeiros modos de vibração. Além disso, dois acelerômetros Low g foram usados para validar os testes.

O segundo teste em laboratório foi desenvolvido para investigar a resposta vibracional de uma viga com maior rigidez e para desenvolver uma rotina de alinhamento de dados fora de fase medidos por diferentes sensores. Foi utilizado um modelo de viga simplesmente apoiada, sustentada por blocos de concreto, com uma seção transversal em formato de "I" e um comprimento total de 1,99 m. A viga, com vão teórico de 1,90 m, foi excitada pelo impacto de um martelo de borracha no centro. Para medir a resposta vibracional, três sensores MPU-6050 foram posicionados a 36,2 cm das extremidades e no centro da viga.

Figura 2 - Segundo teste no modelo estrutural reduzido e dimensões da seção



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Um problema com sensores de baixo custo, como a série MPU, é o nível de densidade de ruído. Borges [8] em seu estudo constatou que esses sensores estão bem acima do valor médio para uso em sistemas de monitoramento dinâmico. Portanto, é necessário avaliar se o sensor MPU-6050 é uma solução válida para análise dinâmica em estruturas reais.

Assim, uma prova de conceito foi realizada medindo a aceleração em uma ponte para verificar se o sinal medido ultrapassa o nível de ruído e se pode ser utilizado para análise de frequência natural. A ponte avaliada na prova de conceito está localizada na UFPE (Universidade Federal de Pernambuco).

A estrutura é composta por concreto armado, com três vigas principais e um tabuleiro com seção em balanço na área de passarela. Possui tráfego moderado, composto principalmente por automóveis de passageiros e veículos de transporte público.

Os testes foram realizados no meio da ponte para obter a amplitude máxima de vibração da primeira frequência natural, com a medição feita próxima à passarela. A aquisição de dados começou pouco antes da passagem dos veículos sobre a estrutura.

Figura 3 - Ponte avaliada na prova de conceito



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

ANÁLISE DE DADOS

As análises foram realizadas em Python, utilizando métodos de avaliação no domínio da frequência com a Transformada Rápida de Fourier (FFT) e a Decomposição no Domínio da Frequência (FDD). A FFT é uma técnica usada para transformar sinais do domínio do tempo para o domínio da frequência de forma eficiente. A formulação é dada por:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-i2\pi kn/N} \quad (1)$$

O FDD tem como objetivo identificar as propriedades modais da estrutura instrumentada por meio da análise modal operacional. O método começa com o cálculo da matriz de densidade espectral de potência (PSD) com base nas acelerações coletadas da estrutura. Isso forma a matriz de sinal de saída [G(w)], onde os valores da diagonal principal consistem na PSD e os valores de densidade espectral de potência cruzada (CPSD) ocupam as outras posições.

$$[G(w)] = \begin{bmatrix} G_{x1,x1}(w) & \cdots & G_{x1,xN}(w) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ G_{xN,x1}(w) & G_{xN,x2}(w) & G_{xN,xN}(w) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Onde N é o número de sinais de saída processados pelo FDD. A matriz PSD tem 3 dimensões, N x N x NF, onde NF é o número de amostras do sinal transformadas para o domínio da frequência. Em seguida, é realizada a decomposição em valores singulares, onde a decomposição é calculada para cada frequência (ω):

$$G(w) = [U][\Sigma][V]^T \quad (3)$$

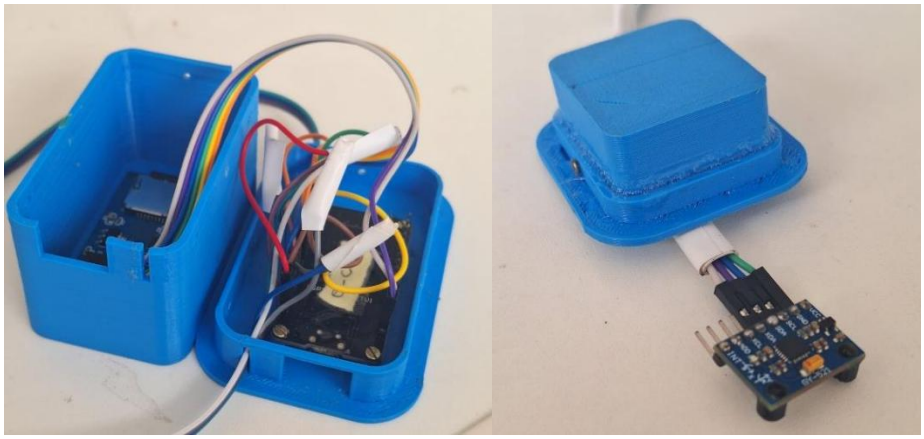
Onde $[U]$ é uma matriz unitária N x N, [Σ] é uma matriz diagonal N x N com os valores singulares, e $[V]$ T é uma matriz N x N com os vetores singulares. O FDD foi calculado utilizando o Py-OMA [9].

PROTOTIPAGEM

O processo de prototipagem abrange desde a concepção até a produção de um produto mínimo viável (MVP). O sistema é composto por sensores que medem dados, que são armazenados na memória interna e, posteriormente, enviados a um servidor local hospedado em um Raspberry Pi via Wi-Fi, usando comunicação TCP/IP. No servidor, os dados são armazenados e processados.

A rotina para o equipamento de medição, desenvolvida no Arduino IDE em C++, inclui medições configuráveis via servidor, definição de intervalos de dormência e armazenamento interno de dados. A configuração final foi projetada considerando o custo, limitações do sistema, resistência a agentes externos, facilidade de instalação e manutenção.

Figura 4 - Desenvolvimento de Protótipo



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Na tabela 1 é apresentado o custo associado ao desenvolvimento do sensor

Tabela 1 - Custo por equipamento

Descrição	Quantidade	Custo unitário (R$)	Custo total (R$)
ESP32 - WiFi + Bluetooth	1	44.90	44.90
Módulo Cartão MicroSD	1	7.90	7.90
Acelerômetro e Giroscópio MPU-6050	2	17.90	35.80
Jumpers Fêmea-Fêmea	26	0.20	5.20
Impressão Proteção MPU-6050	2	8.00	16.00
Impressão Proteção ESP32	1	14.00	14.00
TOTAL	-	-	123.80

Fonte: Elaborado pelo autor

RESULTADOS

A Tabela 2 mostra os resultados médios obtidos nas medições para o primeiro teste de laboratório com a placa metálica simplesmente apoiada. Observa-se que os resultados obtidos com os acelerômetros são consistentes com o modelo teórico.

Tabela 2 - Resultados do primeiro teste

Equipamento	Testes	1º Modo (Hz)	2 º Modo (Hz)	3 º Modo (Hz)
MPU-6050	1	10.010	39.661	78.894
	2	8.301	34.092	69.024
	3	7.507	29.962	62.030
	4	6.890	27.573	56.783
	5	6.042	24.268	50.800
Low g	1	10.010	39.697	78.992
	2	8.301	33.196	68.685
	3	7.483	29.944	62.262
	4	6.885	26.880	56.818
	5	6.042	24.097	52.435
Modelo analítico - SAP2000	1	9,872	36,562	69,946
	2	8,016	36,562	62,854
	3	7,193	28,719	57,694
	4	6,578	24,356	54,433
	5	5,709	24,356	47,794

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 3 apresenta os resultados médios obtidos nas medições para o segundo teste de laboratório com a viga metálica simplesmente apoiada. Observa-se que os resultados obtidos com os acelerômetros são consistentes com o modelo teórico.

Tabela 3 - Resultados do segundo teste

Estatística	1º Modo
Média	33.752 Hz
Modelo analítico - SAP2000	40.801 Hz
Diferença relativa	17.28%

Fonte: Elaborado pelo autor

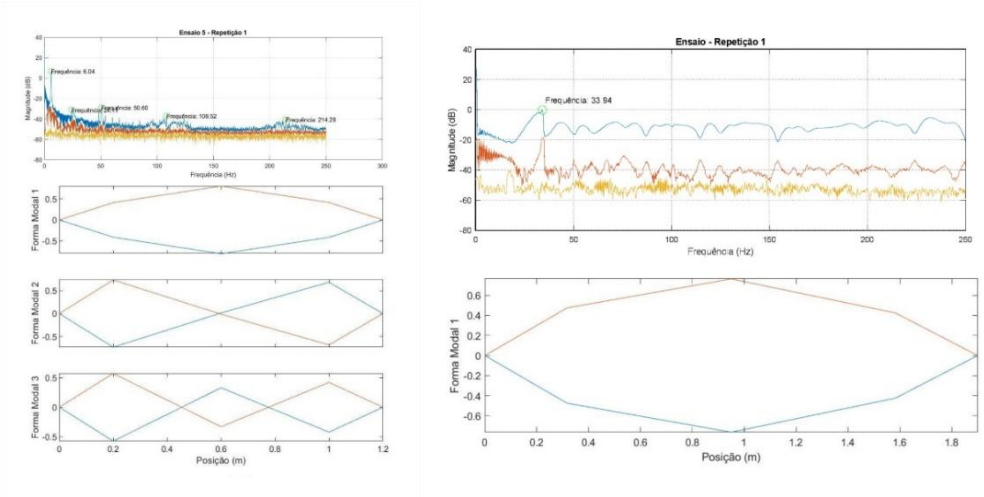
Por fim, a Tabela 4 apresenta os resultados da prova de conceito, com os dados medidos pelo MPU-6050 e pelo Low g, bem como a diferença relativa obtida.

Tabela 4 - Resultados da prova de conceito

Estatística	1º Modo (Hz)
MPU-6050	11,61
Low g	11,37

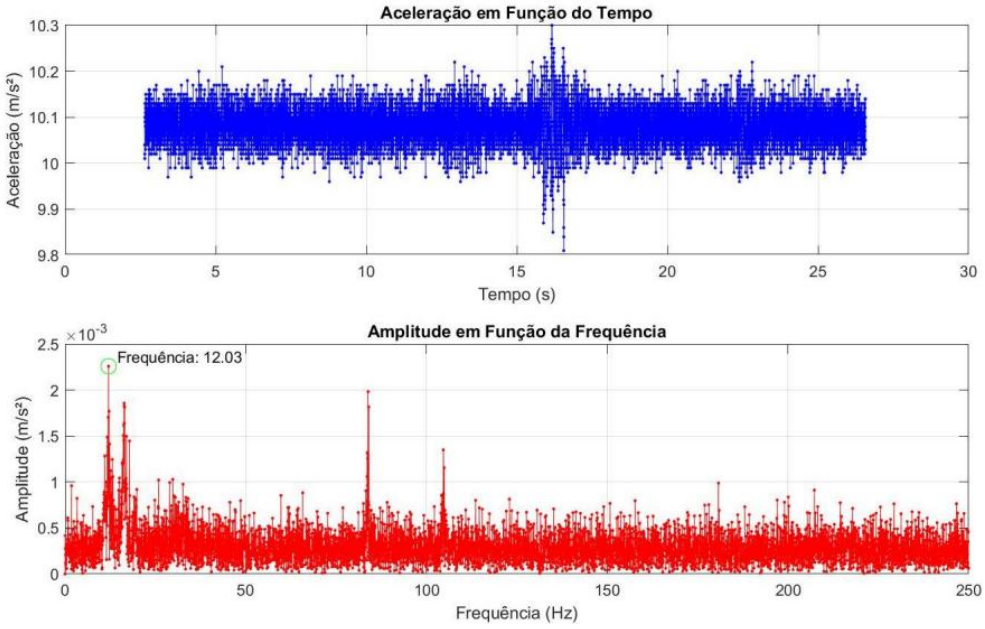
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5 - Resultado no Domínio da Frequência e Forma Modal para o Primeiro e Segundo Testes de Laboratório, respectivamente



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 6 - Resultado no Domínio da Frequência para a Prova de Conceito



Fonte: Elaborado pelo autor

CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo entender as limitações de cada material utilizado, validando seu uso para monitoramento e desenvolvendo um protótipo para aplicação em uma estrutura real. No processo de construção do sistema de monitoramento, concluiu-se que:

Teoricamente, o acelerômetro MPU-6050 não atende às necessidades de monitoramento de integridade estrutural devido ao alto nível de ruído. No entanto, apesar dessas limitações, o MPU-6050 obteve excelentes resultados na avaliação de parâmetros dinâmicos em modelos reduzidos, com uma diferença relativa aceitável em relação aos resultados teóricos, devido à metodologia utilizada.

No sistema de aquisição de dados, o maior desafio foi criar um equipamento com consumo de energia muito baixo, tornando essencial o desenvolvimento da estrutura de sono profundo (deepsleep).

Em termos de custo, o sistema final atende ao objetivo de baixo custo em comparação com sistemas tradicionais. O maior investimento é o servidor local utilizando o Raspberry Pi, mas sua flexibilidade permite que o microcomputador seja substituído por um servidor em nuvem de baixo custo em situações em que há acesso à internet.

REFERÊNCIAS

[1] LOPES, B. A. R. Sistema de Manutenção Predial para Grandes Estoques de Edifícios: Estudo para inclusão do componente Estrutura de Concreto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 1998.

[2] VITÓRIO, J. A. P. BARROS, R. M. M. C. Análise dos danos estruturais e das condições de estabilidade de 100 pontes rodoviárias no brasil. Segurança, Conservação e Reabilitação de Pontes, Porto, p. 63, 2013.

[3] ANDRADE, R. G. M. Comparativo e calibração de modelos numéricos a partir de dados de monitoramento de uma ponte rodoviária curva de concreto armado. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, pp. 121-138, 2013.

[4] COMISU, C. C. Structural health monitoring system of bridges. X International Conference on Structural Dynamics, 2017.

[5] BARROS, L. C. Aplicação de métodos no domínio da frequência para identificação modal de estruturas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

[6] RODRIGUES, J. Identificação modal estocástica: métodos de análise e aplicações em estruturas de engenharia civil. PhD thesis, College of Engineering at the University of Porto, Porto, 2004.

[7] RYTTER, A. Vibrational Based Inspection of Civil Engineering Structures. Aalborg Universit, Aalborg, 1993.

[8] BORGES, J. L. S. Desenvolvimento de um Dispositivo para Monitoramento Dinâmico de Estruturas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

[9] PASCA, D. P. ALOISIO, A. ROSSO, M. M. SOTIROPOULOS, S. PyOMA and PyOMA_GUI: A Python module and software for Operational Modal Analysis, Software X, Vol. 20.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Uso de nuvem de pontos e modelos BIM para controle de obras subterrâneas

Point clouds and BIM models use for underground construction monitoring. Line 6 metro São Paulo example.

Pedro Rey Anton | ACCIONA Construcción S.A | pedro.rey.anton@acciona.com
Bruna Bezerra Vieira | ACCIONA Construcción S.A | bbezerravieira@acciona.com
Alessandra Barbetta | ACCIONA Construcción S.A | abarbettalima@acciona.com
Bruna Gonçalves | ACCIONA Construcción S.A | bgoncalvessilva@acciona.com
Mayara Palladino | ACCIONA Construcción S.A | mpalladinopaula@acciona.com
Isabela Marques | ACCIONA Construcción S.A |imarqueslima.bec@acciona.com
Manuel Mena Montiel | ACCIONA Construcción S.A |mmenam@acciona.com
Cristhiano L. Martins | ACCIONA Con. | cristiano.martins.lopes@acciona.com
Tatiana Yoshikawa | ACCIONA Con. | tatiana.suzy.yoshikawa@acciona.com
Carlos Peña Chueca | ACCIONA Construcción S.A | capenac@acciona.com
Tiago Vieira | ACCIONA Construcción S.A |tsousaleite@acciona.com

DOI: 10.5281/zenodo.14479559

Resumo

A crescente complexidade dos megaprojetos de infraestrutura e os cronogramas cada vez mais restritos têm exigido a adoção de novas metodologias de trabalho, baseadas em soluções inovadoras. A Linha 6 do Metrô de São Paulo é um exemplo dessa realidade. Atualmente, trata-se de um dos projetos mais desafiadores em desenvolvimento no mundo, envolvendo a construção simultânea de 38 unidades construtivas em uma zona densamente urbanizada. A necessidade de projetar estações em espaços confinados, com limitações de superfície, levou à realização de escavações em grandes profundidades. Além disso, a região noroeste, composta por rochas graníticas de alta dureza e condições geotécnicas complexas, demandou o uso de métodos de perfuração e explosão para a escavação. A complexidade do projeto é acentuada pelo fato de ser parte de um contrato de Parceria Público-Privada (PPP), do tipo *Design &Build&Operate* (DBO), que exige soluções rápidas para o cumprimento de prazos rígidos. Diante disso, foi adotada uma metodologia baseada no "*fast-track*" tendo a Modelagem da Informação da Construção, o BIM (*Building Information Modeling*) como processo de trabalho, permitindo que o ciclo de vida do projeto de diversas disciplinas fosse desenvolvido simultaneamente à construção. Essa abordagem requer uma retroalimentação contínua de dados reais e um controle rigoroso da obra, além de respostas ágeis para novos desafios e o desenvolvimento de soluções rápidas. Nesse contexto, o uso combinado de nuvens de pontos e modelos BIM, com fluxos de modelagem, foi crucial para monitorar e controlar a execução das explosões e sua interação com outras disciplinas, como estruturas metálicas, arquitetura e sistemas MEP (*Mechanical, Electrical, and Plumbing*). Essa integração estabeleceu uma comunicação contínua e precisa entre fornecedores e subcontratados. O artigo explora como essa metodologia e seus processos associados foram estabelecidos para controlar a execução e as variações da obra, facilitando a

tomada de decisões. Também são apresentados os resultados da implementação, demonstrando como as nuvens de pontos foram integradas aos modelos BIM e como essas informações foram essenciais para a coordenação dos novos espaços construídos, tendo como exemplo a Estação João Paulo I, onde foi possível gerenciar de forma eficaz as tolerâncias geotécnicas da região. Por fim, o Ambiente Comum de Dados (CDE – *Common Data Environment*) se provou uma ferramenta essencial para a colaboração, possibilitando a visualização dos modelos federados e das nuvens de pontos. A visualização foi crucial para que as equipes pudessem controlar, propor mitigações, adaptações e melhorias, que foram devidamente analisadas e implementadas ao longo de toda a fase de escavação da Linha 6. Portanto, a adoção de nuvens de pontos e modelos BIM, integrados via CDE, foi essencial para o controle eficiente do projeto da Linha 6 de Metrô de São Paulo. Essas ferramentas permitiram maior precisão, colaboração entre equipes e agilidade na resolução de desafios, contribuindo para o sucesso do projeto.

Palavras-chave: BIM. Nuvem de pontos. Fast-track. Megaprojetos. Obras subterrâneas.

Abstract

The increasing complexity of large-scale infrastructure projects and ever-tighter schedules has demanded innovative methodologies. São Paulo's Metro Line 6 is a prominent example, standing as one of the world's most challenging projects currently in development. The project entails constructing 38 units across a densely urbanized area, which requires unique solutions for station designs in confined spaces, often involving deep excavations. In particular, the northwestern region poses added challenges with its hard granite rock and complex geotechnical conditions, necessitating drilling and blasting methods for excavation progress. Adding to the complexity, Line 6 operates under a Public-Private Partnership (PPP) of the Design & Build & Operate (DBO) type, imposing strict deadlines and requiring rapid solutions. To meet these demands, a "fast-track" approach was adopted, utilizing Building Information Modeling (BIM) to facilitate simultaneous project lifecycle development across multiple disciplines. BIM process integration allows real-time data feedback and strict construction control, supporting quick adaptation to emerging challenges. In this framework, the combination of point clouds with BIM models and workflows became essential for monitoring excavation progress and coordinating with various disciplines such as steel structure, architectural elements, and MEP (Mechanical, Electrical, and Plumbing) systems. This level of integration provided accurate, continuous communication between suppliers and subcontractors, fostering smoother workflow coordination, and enhancing overall project efficiency. This article delves into the specific methodologies and processes that were established to ensure meticulous management of project execution and control over variations, simplifying decision-making. It also examines the tangible outcomes of adopting BIM and point clouds, highlighting their substantial impact on effectively coordinating newly constructed spaces. For instance, at João Paulo I Station, point cloud integration with BIM facilitated better control over geotechnical tolerances specific to the region, optimizing spatial precision and enabling swift response within confined areas. An integral part of the project's success was the use of a Common Data Environment (CDE), which significantly bolstered collaboration by allowing team access to federated models and point clouds in real-time. This environment enabled project teams to actively monitor progress, propose timely mitigations, and make adaptations or improvements that were carefully analyzed and implemented throughout the excavation phase. The visualization capabilities provided by the CDE proved invaluable for ensuring alignment between teams, enabling them to address complex environmental and structural demands as they arose. In conclusion, the integration of BIM models and point clouds, facilitated through a collaborative CDE, was instrumental in managing the São Paulo Metro Line 6 project effectively. The synergy between these technologies enabled precise control, improved team collaboration, and provided the necessary flexibility to address project challenges. These tools contributed significantly to achieving a streamlined construction workflow, enhancing the project's success by enabling swift responses, minimizing delays, and ensuring high precision across all construction phases.

Keywords: BIM. Point cloud. Fast-track. Megaprojects. Underground works.

INTRODUÇÃO

A construção de megaprojetos de infraestrutura urbana, como a Linha 6 do Metrô de São Paulo, exemplifica a complexidade e os desafios das obras subterrâneas em áreas metropolitanas densamente povoadas. Este megaprojeto conecta 10 bairros da cidade com realidades socioeconômicas e ambientais distintas, apresentando tanto desafios quanto oportunidades para a cidade. Para esse desafio, a Linha 6 destaca a importância de um planejamento rigoroso e uso de

processos e metodologias avançadas para lidar com os impactos urbanos e as exigências de precisão [1]. Nesse cenário, o uso da combinação de nuvens de pontos com o BIM se revela essencial para o controle da obra. Essa integração, permite o monitoramento de maior precisão durante a fase de escavação, o que proporciona ajustes contínuos nos procedimentos, garantindo o cumprimento de rigorosas tolerâncias e prazos. Isso será explicado neste artigo precisão [1].

LINHA 6 – PROJETO DE METRÔ DE SÃO PAULO: VISÃO GERAL

A Linha 6 do Metrô de São Paulo é atualmente um dos projetos mais desafiadores do mundo. Trata-se dum megaprojeto de *design-build* que abrange a construção simultânea de 15,3 km de túneis escavados, utilizando duas técnicas de escavação: TBM (*Tunnel Boring Machine*) e NATM (*New Austrian Tunneling Method*). Inclui ainda 15 estações subterrâneas, 18 poços de ventilação, duas saídas de emergências, duas subestações elétricas e 1 pátio de manobra e manutenção. Quando em funcionamento, contará com 22 trens em operação que deverá atender a mais de 650.000 passageiros por dia [2].

IMPACTO E CARACTERÍSTICAS DA LINHA 6

A implantação do projeto está localizada em um ambiente urbano complexo nas regiões noroeste e central da cidade. Os túneis e estações estão localizados em áreas densamente povoadas, com diversos edifícios situados muito próximos das escavações. Essa proximidade, somada ao crescimento populacional desordenado, apresenta desafios significativos para o monitoramento do traçado nas principais avenidas. O projeto atravessa tanto pequenas casas, algumas com fundações rasas, quanto regiões com torres altas, refletindo a diversidade urbana. Além disso a Linha 6 integrará quatro linhas já em operação (Linhas 1-Azul e 4-Amarela do metrô e Linhas 7-Rubi e 8-Diamante do sistema de trens metropolitanos). Ademais proporcionará conexão ao sistema local de transporte, com três terminais de ônibus [2].

As quinze estações da Linha 6 terão 132 metros de comprimento e profundidades entre 28 e 66 metros. Cinco estações utilizaram o método cut-and-cover, que consiste na escavação de uma vala na superfície para a construção da estação, seguido pela cobertura do túnel e restauração do local. Este método é adequado para áreas com amplo espaço e profundidades menores, minimizando o impacto nas estruturas adjacentes. As demais estações serão construídas utilizando a metodologia de escavação por meio de poços e túneis (cavernas). Esta técnica é necessária em virtude das características geológicas dos solos ou da limitação de espaço nos terrenos. Três dessas estações estão situadas na região noroeste de São Paulo, em uma formação heterogênea de rocha granítica. Este tipo de terreno demanda um monitoramento rigoroso das vibrações durante a fase de escavação, especialmente devido ao uso de explosivos na construção [2].

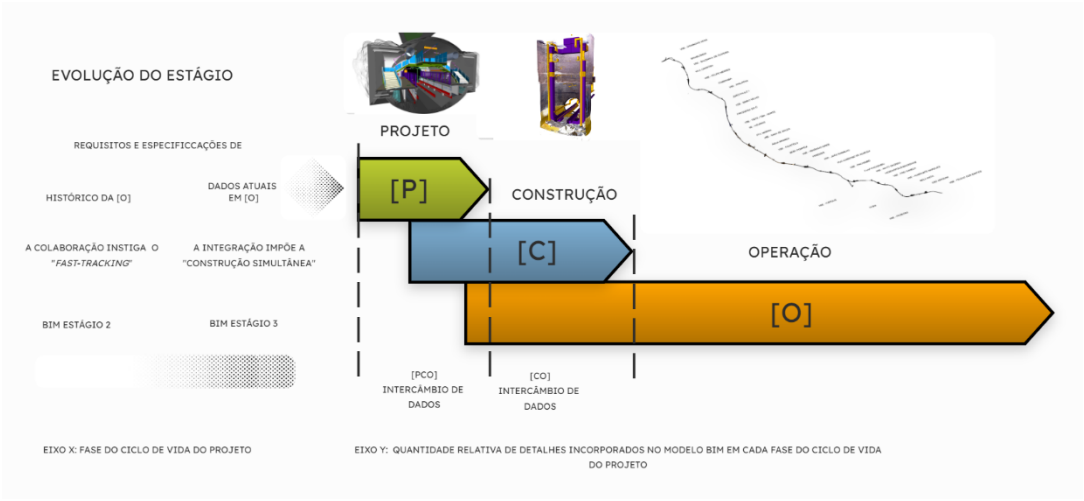
METODOLOGIA

MÉTODO FAST-TRACK E BIM

Para sua execução a Linha 6 adota a metodologia "fast-track", na qual o desenho e a construção das estações ocorrem simultaneamente. Essa abordagem contrasta com a metodologia sequencial tradicional, onde cada fase se inicia apenas após a conclusão da anterior [2]. A principal vantagem dessa metodologia é a execução simultânea de atividades, que requer coordenação rigorosa e comunicação clara entre todos os envolvidos, permitindo a aceleração do cronograma. Para mitigar

problemas comuns associados a esse método, como inconsistências no desenho e aumento de custos [3], o projeto da Linha 6 utiliza o BIM como processo de trabalho. Essa abordagem proporciona a precisão, a colaboração e o controle necessários para minimizar os riscos relacionados à velocidade, além de apoiar a tomada de decisões em todas as fases do projeto (Figura 1). Embora fast-track e BIM sejam abordagens distintas, devem se complementar. Combinadas, otimizam o tempo de entrega, assegurando a qualidade e o controle essenciais ao longo do desenvolvimento do projeto e da obra [4].

Figura 1: Estágio de Evolução fast-tracking para simultâneo.



Fonte: Adaptado de Succar (2008).

ESTRATÉGIA BIM

Um aspecto fundamental desse processo foi estabelecer a troca de informações, entre todos os envolvidos, assim foram definidas no Plano de Execução BIM ou PEB (BEP – *BIM Execution Plan*). Para dar suporte ao processo, um Ambiente Comum de Dados (CDE - *Common Data Environment*), foi especificado para garantir a troca de informações de forma ordenada. Essa abordagem foi especialmente importante devido ao envolvimento das diferentes disciplinas, desenvolvidas por equipes distribuídas geograficamente em diferentes locais e países, todas alinhando-se em fluxos de trabalho e compartilhamento de informações para otimizar a colaboração, cumprir prazos e minimizar o retrabalho de forma eficaz.

CRIAÇÃO DE MODELO BIM

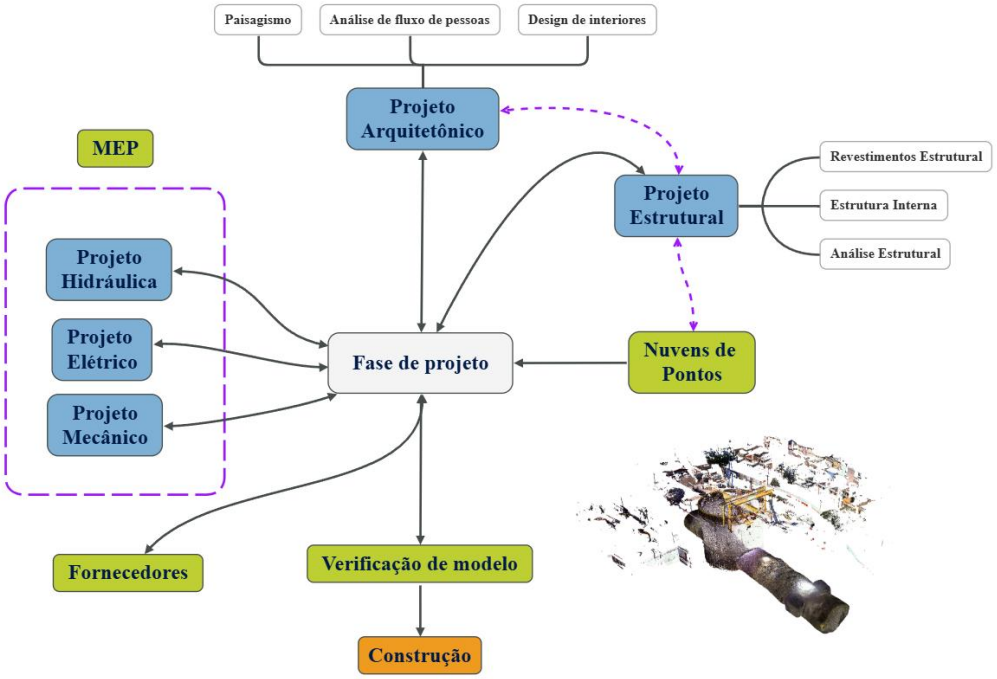
A criação dos modelos é baseada em um traçado previamente definido; após essa definição, os dados geológicos e topográficos, elaborados com a ajuda de nuvem de pontos dos terrenos, são incorporados. Esses dados são combinados com modelos urbanos para gerar modelos arquitetônicos conceituais, que servirão como base para o pré-dimensionamento estrutural primário. Neste ponto, através de uma coordenação integrada e colaborativa, são analisados os requisitos do edital, normas, sistemas e equipamentos que são definidos para operação da linha, considerando também sua instalação e manutenção.

Por tudo isso, os modelos são divididos e subdivididos em pacotes alinhado com a metodologia *fast-track* estabelecida, citada anteriormente; ou seja, atendem a demanda da obra. A definição destes pacotes, é importante, pois são conjuntos de informações necessária para produção no canteiro de

obra. Com o modelo federado, a coordenação e a análise detalhada permitem que os modelos sejam refinados para garantir compatibilidade, evitar conflitos e assegurar a continuidade do projeto [5].

A partir dos modelos básicos de arquitetura, as equipes de estruturas geram os seus primeiros modelos (revestimentos primário e secundário) que orientam o desenvolvimento de outras disciplinas. Depois dessa etapa a arquitetura é novamente incrementada, em seguida as estruturas internas são desenvolvidas, até atingir um trabalho simultâneo entre todas as disciplinas. Quando, o modelo arquitetônico atinge maior maturidade, após analisar os *inputs* das simulações computacionais multidisciplinares necessárias para definir a concepção interna, essa colaboração resulta em um projeto que atinge construtibilidade nas fases iniciais. Nesta fase também são usados para aplicações como simulações que organizam o projeto, avaliação de diferentes cenários, melhoras na segurança ou redução de custos (Figura 2).

Figura 2: Diagrama de criação dos modelos.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

NUVEM DE PONTOS

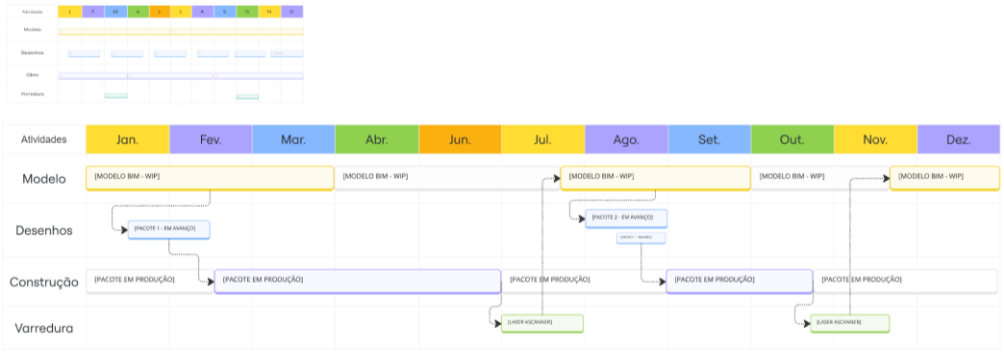
Após a concepção, dimensionamento e análise dos modelos BIM, são gerados pacotes de desenhos. Esses pacotes são as informações usadas nos trabalhos para a construção do projeto. Durante a fase de produção o Modelo BIM referente ao pacote liberado para construção, desempenha também outro papel fundamental. Além de permitir a extração de desenhos com as dimensões exatas, esse modelo serve como referência para o controle e monitoramento das atividades de escavação, garantindo o cumprimento dos requisitos geotécnicos-estruturais. Para esse monitoramento acontecer, é necessário o controle contínuo das equipes de topografia em campo. Para esse fim o topógrafo acompanha todas as etapas da construção, no caso de tuneis e cavernas sendo essencial a marcação em campo da linha de escavação e dos planos de fogo. Eles que garantem a geometria da obra baseadas nos modelos BIM, e em seguida fazem o levantamento da nuvem de pontos georreferenciada

a fim de validar a execução precisa de cada etapa da construção. Assim, cria-se uma comunicação constante entre o canteiro de obras e a oficina técnica.

A conclusão de cada pacote serve como marco para a coleta de informações na obra, permitindo a atualização contínua dos envolvidos sobre o status das atividades executadas. Dessa forma, o progresso é controlado de maneira mais sistemática e eficaz (Figura 3 e 4). Esse controle facilita o monitoramento e permite a detecção de possíveis desvios. Devido ao uso do método Drill and Blast para a execução das estações de poço e caverna em rocha granítica, essas imprecisões ocorrem com assiduidade, tanto positiva quanto negativamente. Portanto, após a conclusão das escavações, um monitoramento é executado pela topografia com laser scanner, para registro. Quando ocorrem desvios importantes, é realizado o levantamento por laser scanner antes mesmo da finalização, para ter um monitoramento completo e poder antecipar decisões que, de outra forma, seriam muito adiadas. Essa informação é processada e liberada no CDE, permitindo que as equipes de engenharia implementem as medidas corretivas necessárias com bastante antecedência.

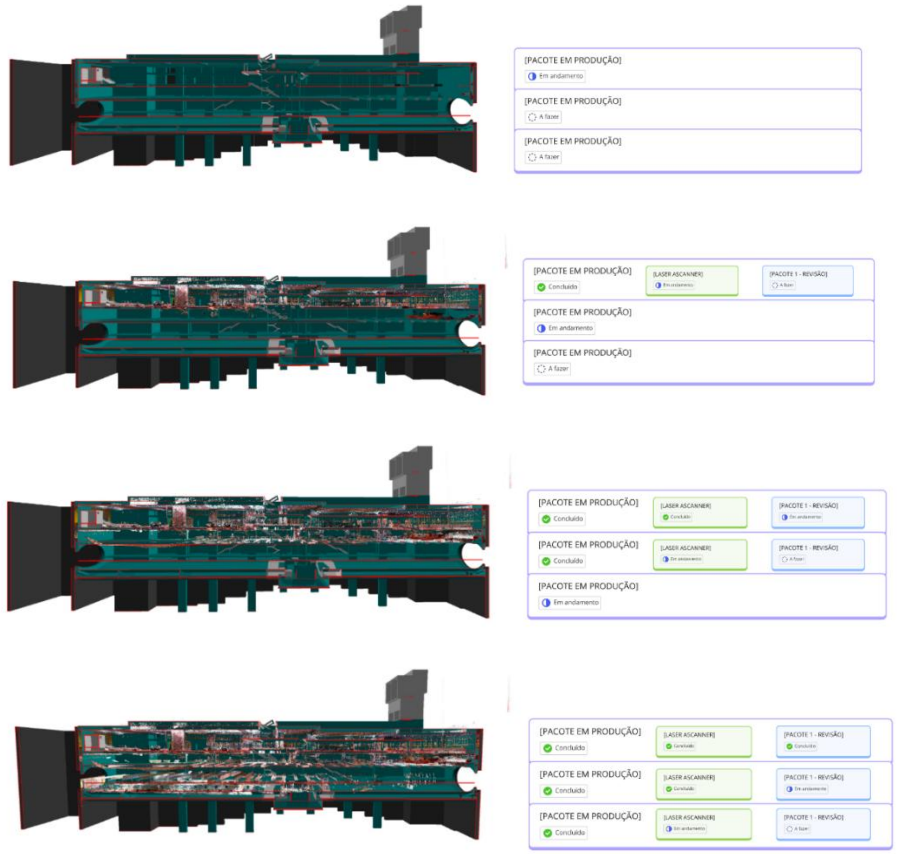
Portanto, durante as etapas de construção por detonações, esse monitoramento constate permite que as equipes técnicas identifiquem e solucionem rapidamente os problemas, gerando planos de ações específicos para cada especialidade, facilitando ajustes no projeto ou em obras civis adicionais conforme necessário, mantendo uma comunicação eficiente e minimizando atrasos. Em suma, antecipando a tomada de decisões.

Figura 3:Cronograma de levantamento de nuvem de pontos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4: Utilizando o BIM como processo e fast-track como metodologia.



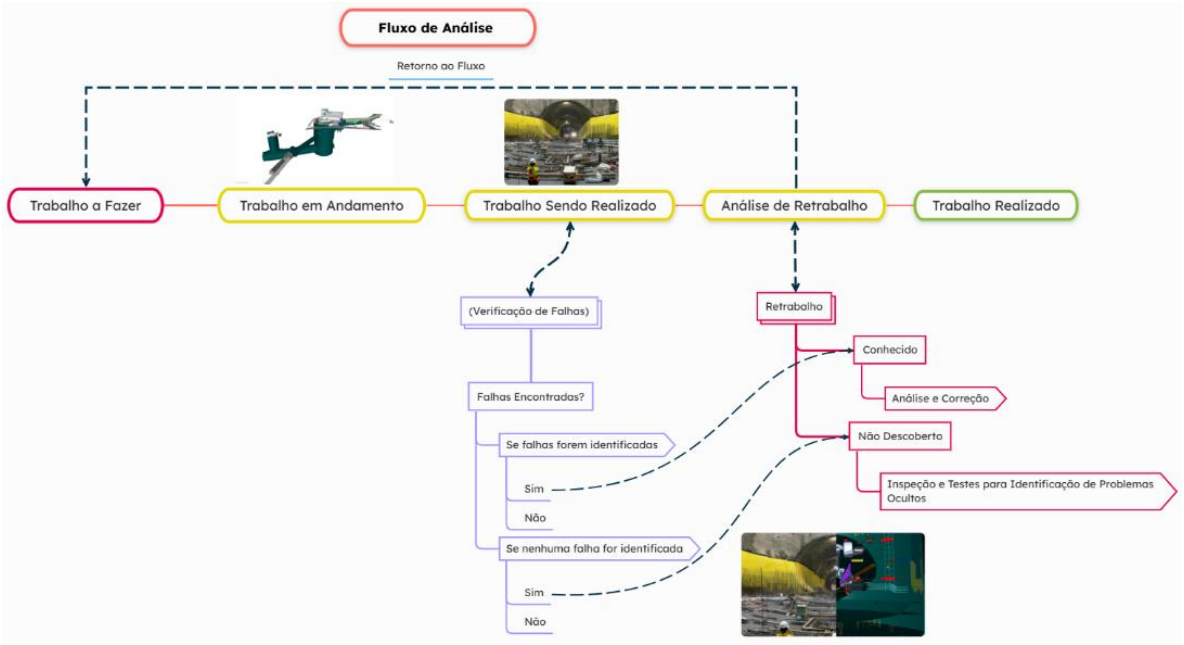
Fonte: Elaborado pelo autor.

RESULTADOS

COORDENAÇÃO E VERIFICAÇÃO DE MODELOS

Durante as etapas de desenho e construção, a coordenação foi realizada por meio de trocas colaborativas no CDE, utilizando como base o modelo federado. Essa colaboração simultânea conseguiu que as variações, erros e problemas de compatibilidade foram resolvidos nos processos de compatibilização das disciplinas. Ao vincular o modelo federado com os modelos de nuvem de pontos dos poços e cavernas, pode ser visto como, apesar de todos os esforços empregados nas detonações e na construção das estruturas, a probabilidade de desvios significativos em certas formações geológicas era bastante alta, o que poderia acarretar problemas futuros, como a “invasão” do espaço necessário para o revestimento secundário, estruturas internas, arquitetura e demais sistemas [6][2]. Devido à essas características das operações de detonação surgiram imperfeições no contorno da escavação, conhecidas como *overbreak* e *underbreak*; o primeiro se refere à quebra excessiva de rocha além do perfil planejado e o segundo à não quebra da rocha dentro do perfil desejado [7]. Em um projeto desse tipo é essencial controlar essas discrepâncias, pois as correções realizadas posteriormente, especialmente a correção do *underbreaks* e *overbreaks*, causariam não apenas um impacto no cronograma, mas também um grande impacto nas interfaces com as demais disciplinas. Dessa forma, o modelo federado, composto pelos modelos BIM de projeto e pelas nuvens de pontos (Figura 5), serve como um canal de tomada de decisão e uma base essencial para alinhar todos os aspectos da construção [2].

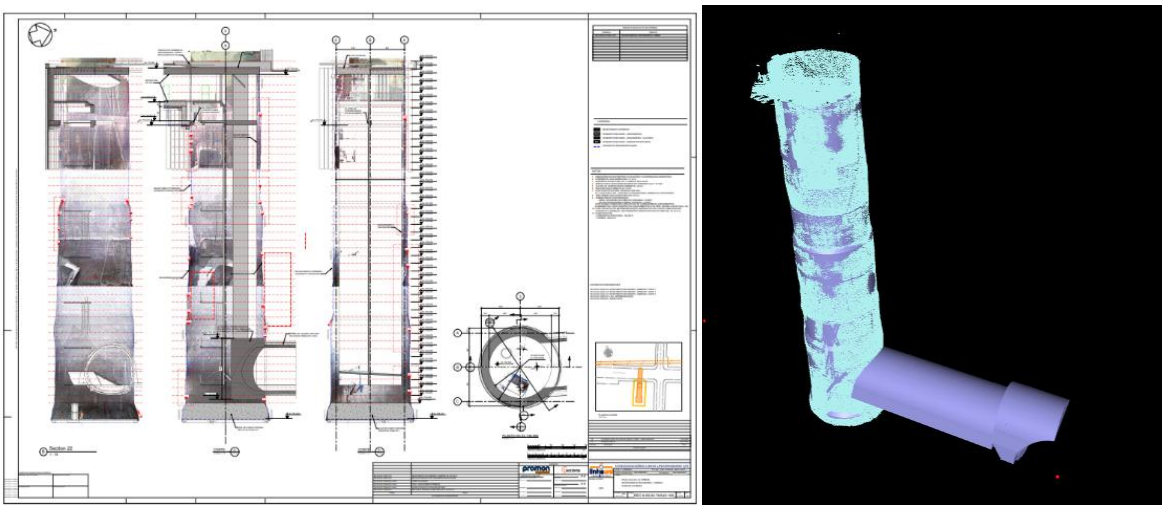
Figura 5: Ciclo de coordenação da Linha 6 de Metrô de São Paulo



Fonte: Elaborado pelo autor.

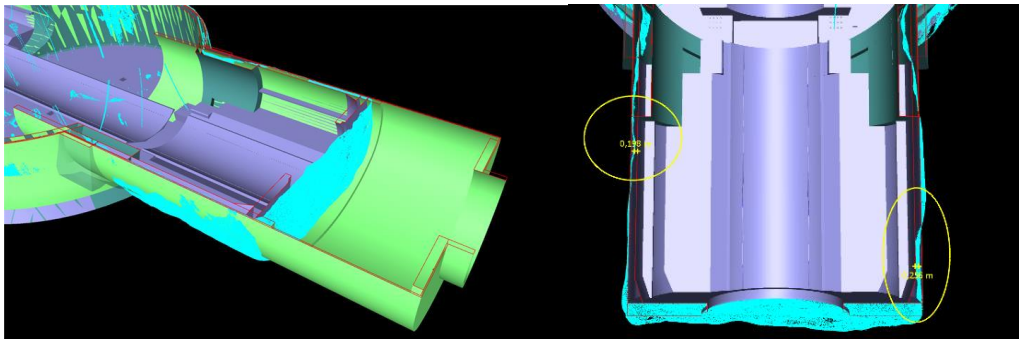
Após tudo isso, uma vez federados, os conflitos e divergências são analisados de três formas: 1) por meio de cortes e plantas, 2) análise visual e detecção automatizada de conflitos, e 3) oferecendo uma visão antecipada de potenciais problemas que poderiam surgir mais tarde (Figura 6). Esse processo facilita a identificação precoce de problemas, permitindo que as equipes adaptem e diagnostiquem com precisão as ações do projeto. Essa abordagem proativa permite que a equipe técnica desenvolva soluções antes que os problemas cheguem ao canteiro de obras, aumentando, em última análise, a eficiência do projeto e minimizando atrasos dispendiosos ou retrabalho durante a construção. Como pode ser visto na Figura 7, esse exercício resultou no encurtamento da caverna sul em 14 metros e na extensão da mesma distância na caverna norte. Essas decisões foram tomadas com base nos modelos federados.

Figura 6: Exemplos de análises com as nuvens de ponto e modelos BIM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 7: Resultou no encurtamento da caverna sul.



Fonte: Elaborado pelo autor.

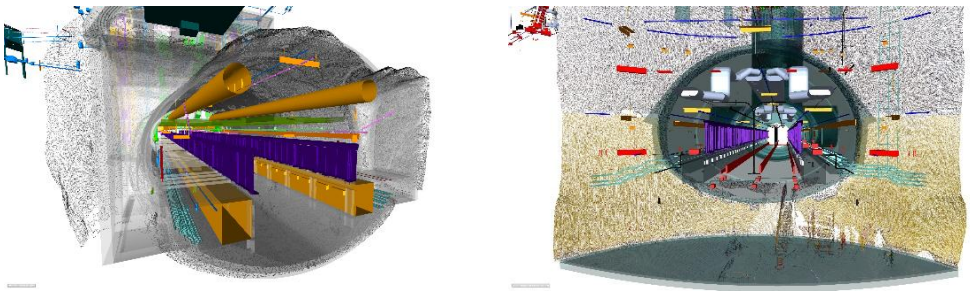
PROTEÇÃO DOS ESPAÇOS

Como é de conhecimento geral em obras subterrâneas, como as de metrô, as margens para mudanças durante a construção, são quase nulas. Portanto, é crucial mapear o que foi construído e integrá-lo aos projetistas, evitando divergências, onde tais problemas não podem mais ser resolvidos de forma eficaz.

Esse conceito é exemplificado perfeitamente nos nichos laterais de evacuação construídos na estação João Paulo I. Originalmente, essas estruturas não foram consideradas e não estavam previstas na geometria do túnel principal, o que gerou uma limitação geotécnica e estrutural para o dimensionamento e a modelagem dessa lateral. Com a escavação da caverna já em andamento, uma força-tarefa foi formada para projetar e implementar essas estruturas, permitindo que fossem escavadas enquanto a caverna principal era construída. Além dos rigorosos requisitos estruturais e geotécnicos, aspectos como tolerâncias, rotas de fuga, extração de ar, entre outros, precisaram ser considerados em detalhe. Assim, a decisão foi modelar a adequação espacial desses pontos para coordenar, estudar e avaliar alternativas até alcançar um modelo integrado, que foi finalmente implementado e adaptado conforme as detonações ocorriam e as nuvens de pontos eram federadas e alinhadas com as demais disciplinas, exigindo ajustes adicionais.

O exemplo desta estação demonstra claramente que a identificação precoce de retrabalhos potenciais evita grandes interrupções no cronograma, especialmente em relação aos impactos no tempo de desenvolvimento. Por fim, a obtenção de imagens do andamento da construção, combinadas com os modelos de projeto, contribuiu significativamente para a comunicação e para a clareza na resolução de problemas [2]. Isso pode ser observado na Figura 8, onde se pode ver como as estruturas de contenção na caverna precisaram ser reestudadas, aumentando-as e vendo seu impacto com o restante das disciplinas envolvidas nesse espaço.

Figura 8: Exemplo de utilização das nuvens de pontos para analisar os espaços construídos.



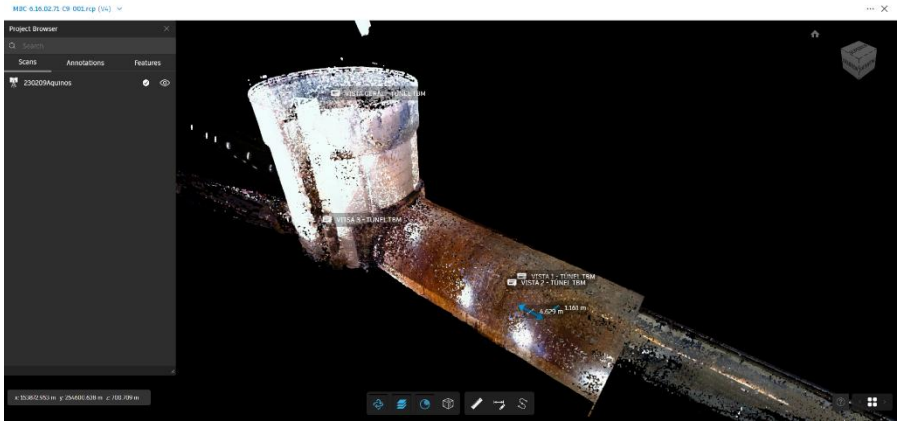
Fonte: Elaborado pelo autor.

VISUALIZAÇÃO NO CDE (AMBIENTE COMUM DE DADOS)

Todo o material coletado durante o processo de obra é integrado ao CDE, onde é disponibilizado para todos os envolvidos no projeto (Figura 9). Essa centralização das informações permite que as equipes de engenharia e controle de qualidade tenham acesso a dados atualizados e detalhados, essencial para uma análise precisa do andamento da construção. Além disso, o acesso antecipado a esses dados possibilita que a equipe de qualidade detecte e documente possíveis desvios de padrão, promovendo um monitoramento contínuo e proativo, que reduz a necessidade de retrabalhos.

O resultado é um projeto mais alinhado, onde potenciais desafios são resolvidos antes de se transformarem em problemas significativos, garantindo que a construção avance de forma mais fluida, com menos interrupções e maior precisão.

Figura 9:Visualização de uma nuvem de pontos no Ambiente Comum de Dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

CONCLUSÕES

O uso do BIM em projetos subterrâneos de alta complexidade e com metodologia fast-track, como o da Linha 6 de Metrô de São Paulo, mostra-se essencial para integrar e alinhar disciplinas desde a concepção até a execução. A combinação de BIM com nuvens de pontos e monitoramento contínuo aumenta significativamente a precisão das informações, garantindo que decisões informadas sejam tomadas de forma ágil e eficaz, tornando-se o canal de tomada de decisão.

Ao permitir uma análise tridimensional detalhada dos modelos, essa abordagem ajuda a identificar e solucionar problemas potenciais, minimizando atrasos e custos adicionais. Com essa metodologia, o projeto se beneficia de uma execução mais controlada, reduzindo o retrabalho e aumentando a eficiência geral. Assim, o BIM não apenas facilita o processo de construção, mas também contribui para o desenvolvimento de infraestruturas mais seguras, precisas, no prazo e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

[1] ANTÓN, P.; SEDÓ, M. CS501522 Line 6 São Paulo Metro Brazil: resuming the largest infrastructure project in LATAM. Autodesk University 2022, 2022. Disponível em: https://autodeskuniversity.smarteventscloud.com/cap/app/sessions#675219. Acesso em: 11 outubro 2024.

[2] ANTÓN, Pedro; TEIXEIRA, Ivo; BARBETTA, Alessandra; VIEIRA, Bruna; ABREU, Fernando. BIM Modelling & reality capture in underground drill and blast caverns. Tunnelling for a Better Life, Shenzhen, China, 28 maio 2024. Digital and information technology, p. 2825-2833. DOI: 10.1201/9781003495505-375.

[3] FAZIO, P. et al. Fasttracking of construction projects: A case study. Canadian Journal of Civil Engineering, v. 15, p. 493–499, 5 fev. 2011.

[4] SUCCAR, B. Building Information Modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction, v. 18, n. 3, p. 357–375, maio 2009. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580 Acesso em: 14 outubro 2024.

[5] EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 2. ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2011.

[6] BIENIAWSKI, Z.T. Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. Wiley, 1989.

[7] SILVA, Davi Arantes. Modelo de regressão linear múltipla para previsão de overbreak em escavações subterrâneas de desenvolvimento. 2024. 53 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2024. Disponível em: https://monografias.ufop.br/handle/35400000/6931. Acesso em: 15 outubro 2024.

Área temática: Sustentabilidade

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Green CapEx: potencial da avaliação do ciclo de vida integrado ao BIM em projeto de uma hidrelétrica

Green CapEx: potential of life cycle assessment integrated with BIM in a hydropower project

Lucas Yosuke Leonel Fukuda | fukuda@retaengenharia.com.br
Thomaz Júnior Soares Silva | thomaz@retaengenharia.com.br
Pedro Henrique Schuchter Pereira |pedropereira@retaengenharia.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14479742

Resumo

O estudo de caso apresenta o potencial da aplicação da metodologia BIM e seus resultados, ao analisar sua implementação em um projeto piloto de ampliação de uma usina hidrelétrica (UHE), cujo escopo contemplou desde a elaboração da contratação da Engenharia Detalhada com atualização das linhas de base do Planejamento e CapEx. Neste sentido, estratégias de implementação foram estruturadas para contratação de consórcio construtor na modalidade EPC, através de um processo de gestão da informação pautado pelas diretrizes da norma *ABNT ISO 19650/2022*. Foram definidos padrões contratuais para os requisitos de modelagem BIM, garantindo que estes apoiassem todos os usos estabelecidos da modelagem, como planejamento, execução da obra, comissionamento e gestão da operação e manutenção do empreendimento. Para isso, ocorreu o desenvolvimento do EIR (Requisitos de Trocas de Informação) a partir de uma matriz de requisitos de informação, de forma a delinear o escopo e as metas, apoiando os processos de colaboração necessários para produção das informações do projeto. Após a modelagem BIM da UHE, foi realizada uma análise detalhada para o cálculo da descarbonização dessa unidade, utilizando uma Calculadora de ACV. No projeto básico, estimou-se que a pegada de carbono seria de 174.000 tCO_2e. Com o projeto otimizado, utilizando materiais sustentáveis, esse valor caiu para 105 mil tCO_2e, representando uma redução de 39,65% das emissões. As alternativas para alcançar a redução de emissões incluíram, por exemplo, o uso de cimento com 50% de escória, aço reciclado e substituição parcial de biodiesel durante execução da obra. Tal análise de descarbonização, denominada "*Green CapEx*", constituiu-se como base para retroalimentação dos estudos de CapEx durante a gestão da obra, transformando-se em uma importante ferramenta para viabilizar a infraestrutura de forma mais ecológica e sustentável. Por conta da integração BIM voltada para a orçamentação com ACV, foi facilitado o uso de bancos de composições de custos para gerar indicadores ambientais e incorporar os fatores de mudanças climáticas nas decisões de projeto. Nesse contexto, a adoção do *Green CapEx* trouxe benefícios em torno da avaliação do projeto em termos de custos, ciclo de vida, eficiência e níveis de produtividade. Ainda no âmbito da sustentabilidade, pode-se também ressaltar os Títulos Verdes de Financiamento, conhecidos como "*Green Bonds*", que viabilizam a obtenção de capital para atividades econômicas sustentáveis. A implementação de *Green CapEx* traz diversas melhorias como financiamento a custo reduzido, atração de investidores sustentáveis e valorização do ativo no mercado. Isso não só cobre os custos de capital de projeto, como também fortalece a sustentabilidade financeira e operativa da empresa a longo prazo. Em suma, o projeto da UHE, seguindo as diretrizes propostas pela integração das

metodologias ACV e BIM, não apenas representa uma abordagem inovadora, mas também é uma necessidade urgente em um mundo que está se voltando cada vez mais para práticas de construção sustentável. Além de beneficiar o meio ambiente, essa estratégia de integração BIM & ACV contribui para economias de custos a longo prazo, ajudando assim a gerar valor compartilhado e a criar um futuro mais verde e sustentável.

Palavras-chave: BIM. CapEx. Infraestrutura. Sustentabilidade. Descarbonização.

Abstract

The case study presents the potential of applying BIM methodology and its results by analyzing its implementation in a pilot project for the expansion of a hydroelectric power plant (HPP). The project's scope included everything from drafting the contract for Detailed Engineering to updating the baselines for Planning and CapEx. In this context, implementation strategies were structured to hire a construction consortium under the EPC (Engineering, Procurement, and Construction) modality through an information management process guided by the guidelines of the ABNT ISO 19650/2022 standard. Contractual standards were defined for the BIM modeling requirements, ensuring they supported all established uses of the modeling, such as planning, construction execution, commissioning, and operation and maintenance management of the enterprise. To achieve this, the development of the EIR (Exchange Information Requirements) was carried out based on an information requirements matrix to delineate the scope and goals, supporting the necessary collaboration processes for producing the project's information. After the BIM modeling of the HPP, a detailed analysis was conducted to calculate the decarbonization of this unit using a Life Cycle Assessment (LCA) Calculator. In the basic design, it was estimated that the carbon footprint would be 174,000 tCO_2e. With the optimized project, utilizing sustainable materials, this value dropped to 105,000 tCO_2e, representing a 39.65% reduction in emissions. Alternatives to achieve this reduction included the use of cement with 50% slag, recycled steel, and partial substitution of biodiesel during construction execution. This decarbonization analysis, termed "Green CapEx," served as the basis for feedback into CapEx studies during project management, becoming an important tool to enable infrastructure in a more ecological and sustainable way. Due to the BIM integration focused on budgeting with LCA, the use of cost composition databases was facilitated to generate environmental indicators and incorporate climate change factors into project decisions. In this context, the adoption of Green CapEx brought benefits in evaluating the project in terms of costs, life cycle, efficiency, and productivity levels. Additionally, within the scope of sustainability, Green Financing Bonds—known as "Green Bonds"—can be highlighted, as they enable the acquisition of capital for sustainable economic activities. The implementation of Green CapEx brings various improvements such as reduced-cost financing, attraction of sustainable investors, and increased asset value in the market. This not only covers the project's capital costs but also strengthens the company's long-term financial and operational sustainability. In summary, the HPP project, following the guidelines proposed by the integration of LCA and BIM methodologies, not only represents an innovative approach but is also an urgent necessity in a world increasingly turning towards sustainable construction practices. Besides benefiting the environment, this BIM and LCA integration strategy contributes to long-term cost savings, thereby helping to generate shared value and create a greener and more sustainable future.

Keywords: BIM. CapEx. Infrastructure. Sustainability. Decarbonization.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm sido amplamente reconhecidas como uma das principais ameaças globais do século XXI. O aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), impulsionado por atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis e a industrialização, tem acelerado o aquecimento global e seus impactos devastadores. O setor de construção, historicamente, tem sido um dos maiores contribuintes para as emissões de carbono, com seu ciclo de vida completo – desde a extração de materiais até a operação e manutenção – representando uma parcela significativa das emissões globais de GEE [1].

Nesse contexto, a descarbonização das atividades de construção se torna não apenas uma meta ambiental, mas uma necessidade econômica e social. A busca por práticas sustentáveis no setor tem levado ao desenvolvimento e à adoção de novas tecnologias, como a Modelagem da Informação da

Construção (BIM) e a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que permitem um planejamento mais eficiente e uma gestão de emissões ao longo de todo o ciclo de vida do projeto [1].

A metodologia *Green CapEx*, que combina a avaliação de impacto ambiental com estratégias financeiras sustentáveis, surge como uma abordagem inovadora para viabilizar economicamente a transição para uma construção de baixo carbono [2]. O uso de instrumentos financeiros vinculados à sustentabilidade, como os Green Bonds, oferece uma maneira eficaz de financiar grandes projetos de infraestrutura, garantindo que o impacto ambiental seja minimizado sem comprometer a viabilidade econômica [3].

Neste artigo, apresentamos o estudo de caso da ampliação de uma Usina Hidrelétrica (UHE), onde as metodologias BIM e ACV foram integradas para alcançar uma redução significativa nas emissões de CO_2e. Ao longo do projeto, práticas de *Environmental, Social and Governance* (ESG) foram adotadas para garantir que as metas de sustentabilidade fossem alcançadas, enquanto o *Green CapEx* ofereceu uma estrutura robusta para garantir o financiamento sustentável da obra. O estudo de caso demonstra como essas práticas inovadoras podem não apenas reduzir o impacto ambiental de grandes projetos de infraestrutura, mas também garantir maior eficiência econômica e atratividade no mercado.

MÉTODO

A aplicação da metodologia *Building Information Modeling* (BIM) foi crucial para o sucesso do projeto de ampliação da usina hidrelétrica. O uso do BIM possibilitou uma modelagem tridimensional detalhada e precisa, abrangendo todas as fases do ciclo de vida do projeto, desde o planejamento inicial até a execução e operação da infraestrutura.

O modelo BIM federado, que integra as informações de todas as disciplinas envolvidas no projeto, serviu como ponto central para o desenvolvimento colaborativo.

MODELAGEM FEDERADA BIM

O conceito de modelagem federada no BIM refere-se à integração de diferentes disciplinas em um único ambiente digital, onde todos os modelos individuais — sejam de engenharia civil, elétrica, mecânica ou arquitetônica — são centralizados.

Esse modelo federado (Figura 1) garante que as informações de todas as disciplinas sejam acessíveis em um formato coordenado, reduzindo a probabilidade de erros e conflitos durante a construção.

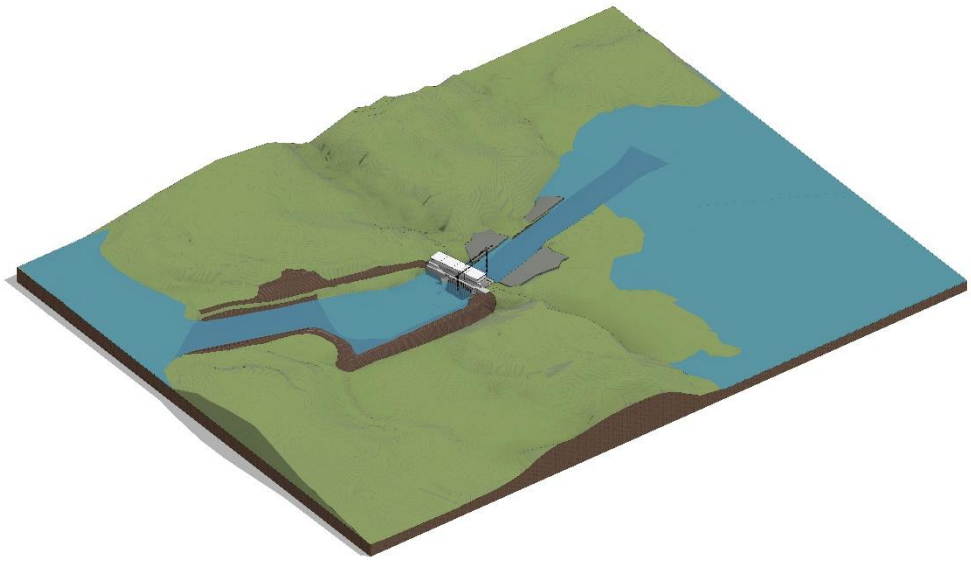
No caso da UHE, o modelo federado foi utilizado para:

- Coordenar e validar os projetos das diversas disciplinas envolvidas, garantindo que o layout da usina e seus componentes, como barragens, turbinas, condutos e estruturas civis, fossem integrados de forma precisa.
- Identificar conflitos antecipadamente (*clash detection*) entre as disciplinas, como interferências entre componentes de engenharia civil e sistemas mecânicos, evitando retrabalhos e desperdícios durante a construção.
- Simular sequências construtivas para otimizar a execução, assegurando que as atividades fossem planejadas de modo a reduzir atrasos e custos.

A centralização de todos os dados da UHE em um único modelo BIM, pautado nos estágios 1 e 2 da ISO 19650-2/2022 [4], também facilitou a gestão colaborativa durante a fase de contratação. Com essa abordagem, os diferentes *stakeholders* — engenheiros, arquitetos e gerentes de projeto — poderão trabalhar em conjunto com acesso a informações atualizadas em tempo real.

Essa coordenação integrada será fundamental para garantir que as soluções projetuais sejam devidamente implementadas no campo, minimizando erros e promovendo a eficiência.

Figura 1: Modelo BIM Federado da UHE.



Fonte: Autores.

INTEGRAÇÃO DO BIM E DA ACV NA AMPLIAÇÃO DA USINA HIDRELÉTRICA

Neste estudo de caso, aplicou-se a metodologia BIM integrada à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na ampliação de uma Usina Hidrelétrica (UHE). Utilizou-se o BIM como ferramenta central para a gestão das informações durante a fase de Engenharia Básica do projeto – facilitando a visualização integrada de todos os aspectos construtivos e ambientais do projeto. A metodologia utilizada proporcionou um controle mais preciso dos recursos, garantindo que as metas de descarbonização e eficiência econômica fossem alcançadas com o suporte de práticas ESG robustas.

Para a integração do BIM com a ACV, seguiu-se um fluxo de trabalho que envolveu diversas etapas cruciais. Primeiro, os desenhos existentes em pranchas 2D foram refeitos no modelo BIM. Com as quantidades extraídas do modelo BIM, foi realizado o CapEx inicial por meio da orçamentação BIM. Posteriormente, esses dados foram exportados para ferramentas de ACV, permitindo a análise dos impactos ambientais de cada decisão tomada no projeto, como as emissões de carbono, e explorando alternativas para mitigar esses impactos desde as fases iniciais do projeto. Em seguida, simulou-se o Green CapEx, recalculando o orçamento a partir do uso de materiais sustentáveis e retroalimentando o CapEx inicial com essas novas informações, de forma a otimizar o planejamento financeiro e o impacto ambiental. Essa etapa envolveu o detalhamento dos dados, como tipo de material, quantidade, fornecedores e parâmetros específicos de sustentabilidade.

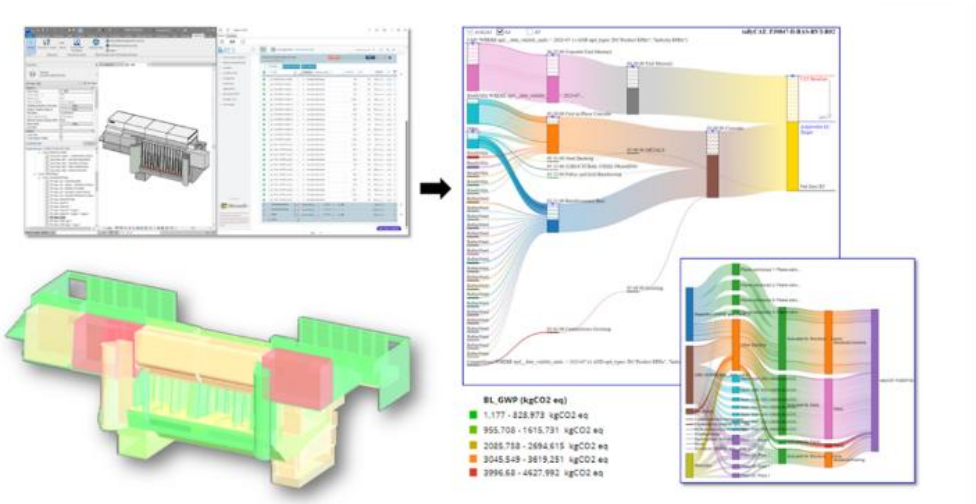
Durante o desenvolvimento do projeto, o uso do BIM possibilitou a integração de dados de diferentes disciplinas, incluindo civil, elétrica e mecânica, resultando em uma visão holística que facilitou o estudo de construtibilidade e sustentabilidade da hidrelétrica. Este fluxo de trabalho permitiu a realização de análises de cenários e comparações entre diferentes opções de materiais, levando em consideração seu impacto ambiental e custo durante o ciclo de vida.

Além da modelagem tridimensional tradicional, o BIM foi integrado ao sequenciamento 4D, que adiciona a dimensão do tempo ao projeto. Por meio dessa abordagem, foi possível planejar cada etapa da construção da usina hidrelétrica com precisão. Aplicaram-se duas estratégias de codificação do modelo para automatizar a Estrutura Analítica do Projeto (EAP) relacionada ao CapEx e ao planejamento, utilizando a plataforma Visus. Dessa forma, o modelo BIM consolidou-se como a única

fonte de informações, garantindo eficiência e precisão dos quantitativos extraídos nas análises ambientais realizadas pela calculadora de carbono.

A simulação 4D permitiu não apenas visualizar o cronograma da construção, mas também associar o planejamento com as metas de sustentabilidade, resultando em decisões mais informadas sobre o uso de materiais e métodos construtivos. A Figura 2 apresenta a Simulação de Descarbonização associada ao Sequenciamento Construtivo 4D, indicando a concentração de carbono equivalente em diferentes fases do projeto, o que ajudou a otimizar o impacto ambiental da construção e auxiliar a determinação de meta de redução de carbono.

Figura 2: Simulação de Descarbonização com Sequenciamento 4D, destacando a concentração de carbono equivalente incorporado no projeto para decisões de redução de carbono. Realizada no Revit com o plug-in Tallycat da calculadora EC3.



Fonte: Autores.

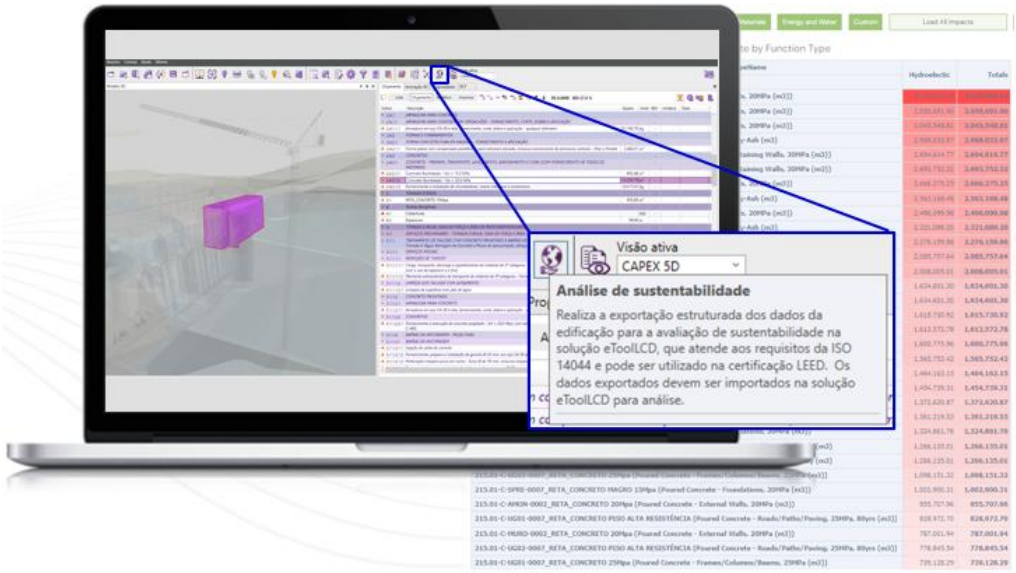
ABORDAGENS UNIDIRECIONAIS E BIDIRECIONAIS NO CICLO DE VIDA DO PROJETO

No contexto da integração das metodologias BIM e ACV, há duas abordagens principais que podem ser adotadas para facilitar a troca de informações e a retroalimentação dos processos de planejamento e execução: as abordagens unidirecional e bidirecional [5].

A abordagem unidirecional consiste na integração em que os dados do modelo BIM são exportados para ferramentas de ACV (Figura 3) para realização de análises ambientais, como a emissão de CO_2e. Essa abordagem é amplamente utilizada em etapas iniciais, como o orçamento e o desenvolvimento do projeto, pois fornece uma análise aprofundada do impacto ambiental, sem necessitar de constante retroalimentação no modelo BIM. No projeto da hidrelétrica, utilizou-se a abordagem unidirecional para garantir uma maior precisão nos cálculos das emissões e facilitar a definição de estratégias e metas sustentáveis desde o início do ciclo de vida do projeto para metrificação do sucesso da implementação BIM no projeto por meio de indicadores presentes na contratação BIM.

Os benefícios da abordagem unidirecional incluem uma maior simplicidade na gestão dos dados e uma redução nos custos relacionados à integração. Como os dados do modelo BIM são exportados apenas uma vez, evita-se a necessidade de constantes atualizações, o que reduz significativamente a complexidade e os recursos exigidos para manter o modelo atualizado. No caso da usina hidrelétrica, isso foi especialmente vantajoso devido ao escopo definido das informações ambientais. Dessa forma, o foco foi na otimização inicial das especificações e na análise profunda de alternativas sustentáveis.

Figura 3: Modelo BIM – integração unidirecional para alimentar calculadoras ACV.



Fonte: Autores.

A abordagem bidirecional, por outro lado, implica em uma relação de troca constante entre o BIM e o ACV, em que os resultados da ACV são usados para atualizar continuamente o modelo BIM e vice-versa [5]. Essa abordagem é mais vantajosa em fases mais avançadas do projeto, pois permite ajustes em tempo real com base em dados atualizados sobre o impacto ambiental. No entanto, neste projeto específico, a abordagem unidirecional foi escolhida devido ao escopo invariável do projeto, o que não exigia retroalimentação constante do modelo, tornando a abordagem unidirecional mais prática e eficiente.

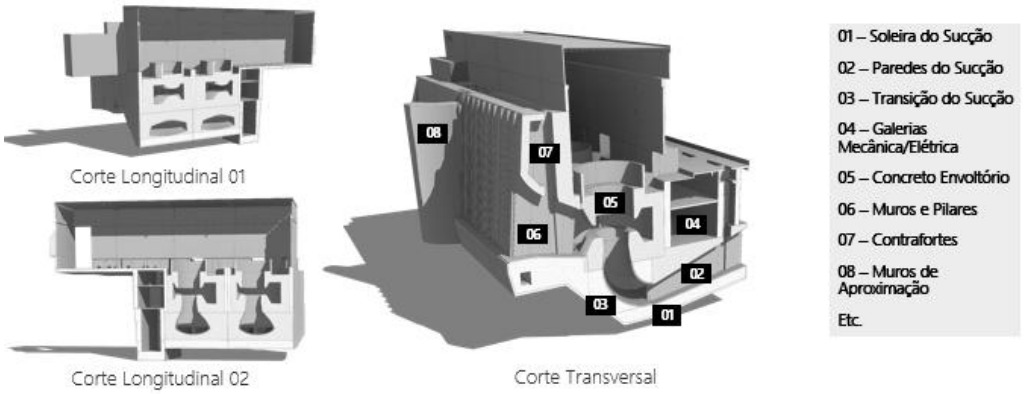
A integração do ACV de forma unidirecional com o BIM no projeto da UHE possibilitou a utilização da ferramenta eTools para a Avaliação do Ciclo de Vida, onde foram inseridos os dados extraídos do modelo BIM para realização de uma análise ambiental abrangente. Isso contribuiu diretamente para a otimização do ciclo de vida do projeto, permitindo o monitoramento das emissões ao longo das fases de planejamento e execução, e fornecendo uma base para definir estratégias e metas de descarbonização.

Além disso, a abordagem unidirecional garantiu que as informações de sustentabilidade fossem validadas antes da fase de construção, assegurando que não haveria necessidade de grandes ajustes durante a obra, o que poderia gerar atrasos e aumentos de custo. Essa previsibilidade se mostrou fundamental para o sucesso do projeto e foi uma das razões pelas quais a metodologia Green CapEx foi eficaz ao minimizar os impactos ambientais e ao mesmo tempo maximizar a eficiência econômica.

APLICABILIDADE DA METODOLOGIA PARA OUTROS SETORES

Um aspecto inédito neste artigo é a discussão sobre como a metodologia desenvolvida pode ser adaptada para outros setores de infraestrutura, como rodovias, ferrovias, e projetos de energia solar desde que o modelo reflita aspectos de construtibilidade (Figura 4). O processo de modelagem BIM para descarbonização, que agrega a dimensão da sustentabilidade, se mostrou eficaz na identificação de potenciais de otimização de recursos e redução de emissões de carbono durante a fase de planejamento e construção. Além disso, a utilização da Calculadora de ACV, ferramenta que já se provou eficiente no contexto da hidrelétrica, pode ser aplicada para outras infraestruturas, permitindo uma abordagem escalável e replicável da metodologia Green CapEx.

Figura 4: Elementos construtivos principais da UHE.



Fonte: Autores.

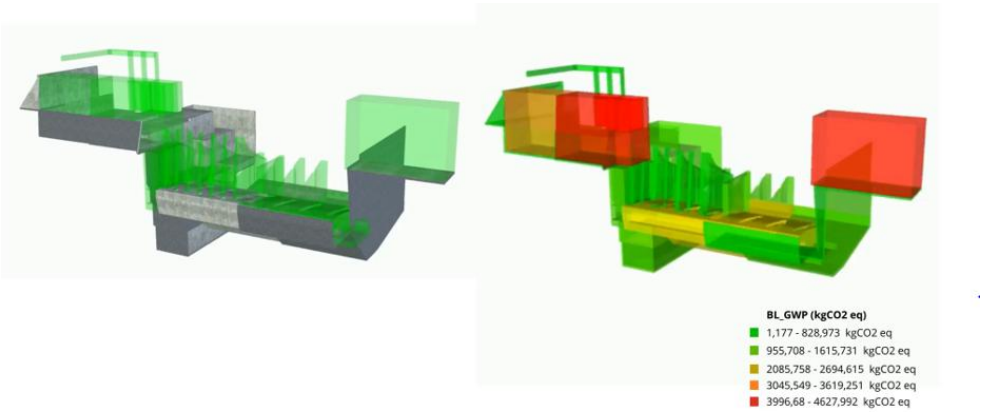
Dessa forma, fica evidente que o modelo proposto neste estudo pode ser expandido para outros tipos de empreendimentos de infraestrutura, especialmente aqueles em que as metas de sustentabilidade estão se tornando cada vez mais prioritária.

INOVAÇÕES NA GESTÃO DO CICLO DE VIDA DO PROJETO

Durante o projeto, a ACV foi utilizada não apenas como uma ferramenta de análise, mas como uma verdadeira aliada na tomada de decisões estratégicas ao longo de todo o ciclo de vida do projeto. Essa integração permitiu que decisões relacionadas à escolha de materiais, técnicas de construção e práticas sustentáveis fossem baseadas em dados concretos de impacto ambiental, fornecendo um nível de precisão que seria difícil de alcançar com métodos tradicionais.

Além disso, utilizou-se a simulação 4D para a descarbonização associada ao sequenciamento construtivo, que permitiu visualizar o impacto das decisões de planejamento ao longo do tempo. Essa integração 4D do BIM possibilitou uma análise mais dinâmica dos processos de construção, identificando potenciais áreas de melhoria para reduzir as emissões de carbono e melhorar a eficiência ambiental na engenharia detalhada. A Figura 5 a seguir apresenta os Resultados da Simulação 4D de Descarbonização, evidenciando a distribuição das emissões de carbono por fase do projeto e os ganhos obtidos com as medidas de otimização adotadas.

Figura 5: Resultados da Simulação 4D de Descarbonização realizada.



Fonte: Autores.

Outro ponto de inovação foi o uso da ACV para alinhar as metas de sustentabilidade com os critérios financeiros do projeto, entendendo a metodologia BIM como “Business Information Managment” ao invés do conceito tradicional de modelagem da informação da construção. Através da criação de métricas claras e integradas ao BIM, tornou-se possível realizar uma análise comparativa que levou em consideração tanto os custos econômicos quanto os benefícios ambientais. Isso permitiu que a equipe identificasse oportunidades para o uso de materiais mais ecológicos e técnicas de construção inovadoras, sem comprometer a viabilidade econômica do projeto.

RESULTADOS

A análise de descarbonização do projeto de ampliação da usina hidrelétrica (UHE) foi uma das etapas mais importantes para garantir que o empreendimento atendesse aos objetivos de sustentabilidade estabelecidos pelo Green CapEx, integrando ACV e BIM para mensurar e reduzir as emissões de CO_2e, otimizando materiais e processos.

RESULTADOS DA REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CO_2E

A partir da análise detalhada dos dados do modelo BIM orçamentário, o valor estimado de emissões na fase inicial do projeto, sem a otimização dos materiais, era de 174.000 toneladas de CO_2e. No entanto, após a implementação das medidas de otimização, que incluíram a simulação de materiais sustentáveis com EPD (*Environmental Product Declaration)* uso de cimento com 50% de escória, aço reciclado e o uso parcial de biodiesel durante a execução, as emissões totais foram reduzidas para 105.000 toneladas de CO_2e.

RESULTADOS FINANCEIROS E IMPACTO DOS GREEN BONDS

O foco em Green CapEx, combinado com as práticas de ESG, permitiu uma análise detalhada do impacto financeiro do projeto. A adoção dos Green Bonds, ou Títulos Verdes, foi essencial para garantir o financiamento sustentável do empreendimento. Esta abordagem não apenas reduziu o custo do financiamento, mas também aumentou a atratividade do projeto para investidores que priorizam sustentabilidade.

Especificamente, a redução das emissões de CO_2e em 39,65%, o que equivale a aproximadamente 69.000 tCO_2e, correspondente à preservação de cerca de 483.000 árvores, atingida por meio do uso de materiais como cimento com 50% de escória e aço reciclado, houve uma redução de 11,28% no CapEx total do projeto devido à utilização do BIM no orçamento, otimizando a alocação de recursos e permitindo um controle financeiro mais eficiente. No entanto, a implementação de materiais sustentáveis resultou em um aumento de 2,79% no CapEx, o que ainda deixa um saldo positivo de 8,49% de economia no CapEx total. A redução no CapEx total mostra como as escolhas estratégicas e a integração das tecnologias BIM e ACV geraram um impacto financeiro positivo, garantindo a viabilidade econômica ao mesmo tempo que impulsionaram a sustentabilidade ambiental.

Ademais, o uso dos Green Bonds facilitará a captação de recursos em condições mais favoráveis, uma vez que os investidores estão cada vez mais interessados em projetos que tenham uma pegada de carbono reduzida e que promovam a transição para uma economia mais verde. Esse tipo de financiamento permitiu que o projeto tivesse maior segurança financeira, garantindo que houvesse menos pressão para cortes de custos que poderiam comprometer os objetivos ambientais. Assim, foi possível equilibrar sustentabilidade e rentabilidade, atraindo tanto investidores comprometidos com causas ambientais quanto aqueles interessados em retorno financeiro a longo prazo.

CONCLUSÃO

A análise de descarbonização realizada no projeto da UHE utilizando a integração das metodologias BIM e ACV, demonstrou que é possível aliar eficientemente sustentabilidade à viabilidade econômica em grandes projetos de infraestrutura. A modelagem BIM não apenas trouxe uma visão integrada e colaborativa para as diversas disciplinas envolvidas, mas também permitiu um estudo aprofundado dos aspectos de construtibilidade da hidrelétrica, possibilitando uma análise mais precisa de como otimizar a execução e reduzir potenciais conflitos antes da fase de construção. Essa integração proporcionou uma melhor previsão de cenários e escolha de materiais sustentáveis, resultando em uma significativa redução dos impactos ambientais. Ao associar a orçamentação BIM ao ACV, o projeto alcançou resultados expressivos na diminuição das emissões de gases de efeito estufa, evidenciando o papel fundamental da simulação de cenários e da escolha de materiais sustentáveis no processo decisório.

Os principais benefícios observados incluem uma redução significativa de 39,65% nas emissões de CO_2e, assim como uma economia considerável nos custos operacionais a longo prazo. Além disso, a abordagem integrada gerou uma economia de 8,49% no CapEx total, mesmo considerando os custos adicionais dos materiais sustentáveis. Essa otimização financeira foi alcançada devido à redução de 11,28% no CapEx inicial com a utilização do BIM no orçamento, de tal modo que, ainda com o aumento de 2,79% devido a materiais sustentáveis, o projeto manteve um saldo positivo significativo. Essa abordagem permitiu não apenas otimizar custos, mas também reduzir as emissões de carbono em 39,65%, reforçando a viabilidade da integração entre sustentabilidade e economia.

A utilização de *Green Bonds* e a adesão a boas práticas de ESG também facilitaram o acesso a financiamentos sustentáveis, garantindo não apenas a viabilidade financeira do empreendimento, mas também aumentando sua atratividade junto a investidores que buscam compromissos com sustentabilidade.

Nesse sentido, a integração do BIM com a ACV no âmbito do *Green CapEx* não é apenas uma abordagem inovadora; é uma necessidade urgente diante dos desafios climáticos globais e das exigências crescentes por sustentabilidade nos setores de construção e infraestrutura. Modelos sustentáveis, como o apresentado, possuem o potencial de transformar a indústria da construção, proporcionando soluções que minimizam impactos ambientais ao mesmo tempo em que maximizam a eficiência econômica e operacional.

Portanto, a adoção de práticas como as exploradas no projeto *Green CapEx* reflete um caminho viável e necessário para promover uma infraestrutura mais verde e resiliente. A integração das tecnologias BIM e ACV deve ser vista como um padrão para os futuros projetos, ajudando a impulsionar não apenas a eficiência construtiva, mas também a responsabilidade ambiental, garantindo assim que a indústria da construção se alinhe com os objetivos globais de desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

[1] GOMES, Vanessa; BARROS, Natalia Nakamura. Contribuição da modelagem BIM para facilitar o processo de ACV de edificações completas. Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 13, n. 2, p. 19-34, 2018.

[2] CORBETT, Brendan; TYLENDA, Evan; BINGHAM, Derek R.; ALABASTER, Sofie; SINGER, Brian; MEYER, Madeline; KIM, Keebum; JONES, Emma; PHILLIPS, Alec. Green Capex: making infrastructure happen. New York: Goldman Sachs, 2021. Disponível em: https://www.goldmansachs.com/insights/goldman-sachs-research/green-capex. Acesso em: 5 novembro 2024.

[3] PITMAN, K. Why CAPEX and whole life cost are a false dichotomy: six trends in sustainability by design. Royal Institution of Chartered Surveyors, 21 jun. 2024. Disponível em: https://www.rics.org/news-insights/wbef/why-capex-and-whole-life-cost-are-a-false-dichotomy-six-trends-in-sustainability-by-design. Acesso em: 5 novembro 2024.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 19650-2: Organização da informação acerca de trabalhos da construção – Gestão da Informação usando a modelagem de informação da construção – Parte 2: Fase de entrega de ativos. Rio de Janeiro, 2022.

[5] CRIPPA, Juliana. Integração BIM-ACV como apoio à tomada de decisão na fase de construção. 2019. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Integração do BIM na redução da emissão de carbono: práticas sustentáveis para infraestruturas de transporte

Integration of BIM in carbon emission reduction: sustainable practices for transportation infrastructure

Marinna Dias Pereira |SYSTRA| mpereira2@systra.com | 0009-0005-7622-4021
Francisco Weslley Paiva Castelo |SYSTRA| fcastelo@systra.com| 0009-0002-5500-8512
Anderson Santos de Oliveira |SYSTRA| aoliveira4@systra.com | 0009-0004-7653-5260
Eduardo Capanema |SYSTRA| cecapanema@systra.com | 0009-0005-7968-9158

DOI: 10.5281/zenodo.14479772

Resumo

O setor da construção civil é responsável por impactar significativamente o meio ambiente. Na área de transportes, em particular, a urgência por soluções sustentáveis cresce à medida que governos e empresas se comprometem com metas da redução de emissão de carbono. Em contrapartida, a adoção de práticas que realmente reduzam a pegada de carbono ainda enfrenta desafios como o uso de materiais convencionais e processos ineficientes. Neste contexto, o *Building Information Modeling* (BIM) se apresenta com ferramentas e processos não apenas para a digitalização do projeto nas suas modelagens, mas para a transformação sustentável do setor. Este projeto de pesquisa visa a investigar a eficácia da integração da microssimulação e do BIM na gestão sustentável de infraestruturas, com foco na redução das consequências ecológicas e no aumento da competitividade no mercado nacional. Além disso, identificar o potencial das novas tecnologias em gerar benefícios financeiros e em liderar projetos de redução do impacto ambiental na construção civil. A integração da modelagem com simulações de carbono oferece uma plataforma desenvolvida para a tomada de decisões informadas, permitindo que gestores de projetos e equipes identifiquem e priorizem as intervenções mais eficazes para atingir resultados. O objetivo é demonstrar, por meio de simulações baseadas em normas internacionais, que práticas sustentáveis integradas ao BIM podem efetivamente reduzir as emissões de CO_2, proporcionando benefícios ambientais e econômicos de longo prazo. O artigo pontua ainda as principais barreiras para a adoção em larga escala dessas tecnologias, como o custo de implementação do BIM e a resistência à mudança no setor de construção. A metodologia deste estudo envolveu a coleta de dados sobre materiais, consumo de energia e processos de construção, que foram integrados a modelagem para simular cenários de emissões de carbono. Dois cenários principais foram analisados: o cenário base, que utilizou métodos e materiais convencionais, e o cenário otimizado, no qual foram implementadas soluções sustentáveis, como o uso de materiais de baixo carbono e a adoção de fontes de energia renováveis. A comparação entre os cenários revelou uma redução significativa das emissões de CO_2 no cenário otimizado, destacando a importância de incorporar práticas sustentáveis desde a fase de concepção do projeto. Esta pesquisa apresenta o papel do BIM em conjunto com a microssimulação na busca por uma construção civil mais sustentável e competitiva. O estudo também discorre como essas inovações tecnológicas podem reduzir impactos ambientais e melhorar a performance financeira de projetos de infraestrutura, em conformidade com as leis e pautas ambientais no

cenário global. A adoção dessas soluções é apresentada como um passo importante para a inovação, com o BIM atuando como um meio transformador do setor de forma prática.

Palavras-chave: BIM. Sustentabilidade. Infraestrutura. Construção Civil.

Abstract

The construction sector significantly impacts the environment, particularly in the transportation field, where the demand for sustainable solutions intensifies as governments and companies commit to carbon emission reduction targets. However, adopting practices that effectively reduce the carbon footprint still faces challenges, such as the continued use of conventional materials and inefficient processes. In this context, Building Information Modeling (BIM) offers tools and processes not only for project digitization but also for driving the sector's sustainable transformation. This research project aims to investigate the effectiveness of integrating microsimulation and BIM in sustainable infrastructure management, focusing on reducing ecological consequences and increasing competitiveness in the national market. Furthermore, it seeks to identify the potential of new technologies in generating financial benefits and leading projects aimed at reducing the environmental impact of construction. The integration of modeling with carbon simulations provides a platform for informed decision-making, enabling project managers and teams to identify and prioritize the most effective interventions to achieve results. The objective is to demonstrate, through simulations based on international standards, that sustainable practices integrated with BIM can effectively reduce CO_2 emissions, offering long-term environmental and economic benefits. The paper also highlights the main barriers to the widespread adoption of these technologies, such as the cost of BIM implementation and resistance to change in the construction sector. The study's methodology involved collecting data on materials, energy consumption, and construction processes, which were integrated into modeling to simulate carbon emission scenarios. Two main scenarios were analyzed: the baseline scenario, which used conventional methods and materials, and the optimized scenario, where sustainable solutions such as low-carbon materials and renewable energy sources were implemented. The comparison between the scenarios revealed a significant reduction in CO_2 emissions in the optimized scenario, emphasizing the importance of incorporating sustainable practices from the project design phase. This research highlights the role of BIM combined with microsimulation in promoting a more sustainable and competitive construction sector. The study also discusses how these technological innovations can reduce environmental impacts and improve the financial performance of infrastructure projects, in compliance with global environmental regulations. The adoption of these solutions is presented as a key step toward innovation, with BIM acting as a transformative tool for the sector in a practical way.

Keywords: BIM. Sustainability. Infrastructure. Construction.

INTRODUÇÃO

Define-se a infraestrutura como um conjunto de ativos físicos e sistemas que fornecem serviços essenciais à sociedade e impulsionam o desenvolvimento econômico. Isso inclui estradas, ferrovias, portos, aeroportos, redes de energia, telecomunicações e sistemas de água e saneamento, entre outros. Esses ativos são fundamentais para a produção e distribuição de bens e serviços, bem como para a conectividade e a qualidade de vida [1]. Contudo, o setor de construção civil é responsável por cerca de 39% das emissões globais de CO_2, tornando a adoção de práticas sustentáveis uma prioridade urgente, especialmente na infraestrutura de transportes. A implementação de soluções inovadoras que atendam às demandas ambientais torna-se essencial.

Nesse contexto, o *Building Information Modeling* (BIM) surge como uma metodologia transformadora, integrando a modelagem digital à análise de impacto ambiental. O BIM permite o acompanhamento de emissões e a otimização de processos desde a fase de planejamento até a execução e manutenção do projeto, apresentando uma abordagem promissora para projetos mais eficientes e sustentáveis [2]. Por meio de simulações detalhadas, o BIM permite a análise de desempenho energético, facilitando a redução do consumo de energia e das emissões de carbono [3]. Ao promover o trabalho colaborativo entre diferentes disciplinas desde o início do projeto, o BIM facilita a integração de princípios de

sustentabilidade e a otimização do uso de materiais, contribuindo para a minimização de resíduos e do impacto ambiental [4].

Além disso, estudos e diretrizes internacionais, como as normas ISO 14040 e PAS 2080, destacam a importância da análise do ciclo de vida na gestão de carbono, justificando o uso de ferramentas que possibilitam uma visão integrada e sustentável dos projetos.

A combinação do BIM com simulações de carbono, exemplificada pela ferramenta *CarbonTracker* da SYSTRA, permite a criação de cenários comparativos e a escolha de materiais e processos que minimizam a pegada de carbono. Esse tipo de análise fornece a gestores e equipes de projeto dados precisos e atualizados, orientando a tomada de decisões embasadas na sustentabilidade e em práticas de baixo impacto ambiental.

No setor de transporte, especialmente em modais como ferrovias e rodovias, que são grandes emissores de CO_2, a adoção do BIM aliado a tecnologias de simulação e monitoramento é ainda mais relevante.

Embora o Brasil ainda careça de regulamentações específicas para emissões de carbono na construção civil, iniciativas como o selo Procel Edifica e as certificações *LEED* já incentivam práticas construtivas mais eficientes e menos impactantes para o meio ambiente [5]. O mercado de títulos verdes e a precificação de carbono também representam incentivos para que o setor adote uma economia mais verde e eficiente.

Diante desse cenário, este projeto de pesquisa propõe investigar a eficácia da integração entre o BIM e a simulação de carbono para a gestão sustentável de infraestruturas de transporte, focando especialmente na redução de emissões de CO_2.

A utilização dessas tecnologias permite transformar a abordagem tradicional da construção civil, promovendo a sustentabilidade como um pilar estratégico para o setor. A inovação representada pelo BIM e sua aplicação junto a ferramentas de simulação de emissões oferece potencial para modificar o ciclo de vida dos projetos, demonstrando que uma construção civil mais sustentável é viável e economicamente competitiva no cenário atual.

BIM E A SUSTENTABILIDADE

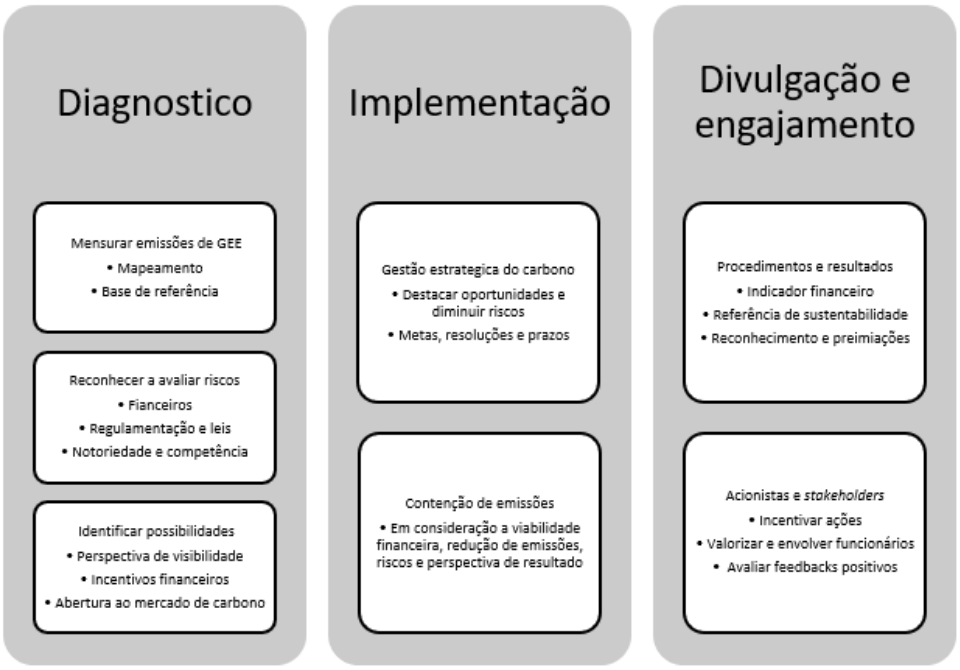
A adoção do *Building Information Modeling* (BIM) na construção civil traz grandes benefícios ao permitir o monitoramento e a gestão das emissões de carbono ao longo de todo o ciclo de vida dos projetos.

A vantagem do BIM para empresas de infraestrutura de transporte não se limita à digitalização de modelos, mas inclui a capacidade de integrar dados ambientais, facilitando a tomada de decisões sustentáveis.

Isso contribui tanto para o cumprimento de metas de descarbonização quanto para a geração de benefícios financeiros e competitivos, ao demonstrar o compromisso da empresa com a sustentabilidade e atrair investimentos alinhados a esses princípios [6].

Abaixo, a Figura 1 traz uma análise que relaciona os fundamentos de planejamento estratégico em baixo carbono — diagnóstico, implementação e divulgação, conforme *Estratégias Corporativas de Baixo Carbono: Gestão de Riscos e Oportunidades* (2011) — o papel do BIM em promover uma gestão integrada das emissões de carbono ao longo dos projetos será visto mais adiante.

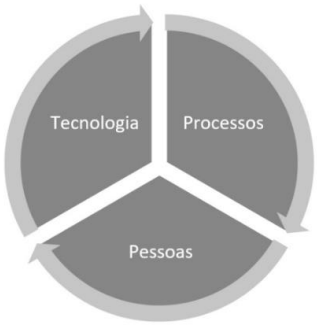
Figura 1: Gestão da Emissão de Gás Carbônico



Fonte: Adaptado pelo autor de (CNI, 2011).

O BIM também promove uma abordagem colaborativa, dentre seus fundamentos de processos, como visto na Figura 2. Diversas disciplinas podem compartilhar informações desde o início do projeto. Essa colaboração permite a escolha de materiais e técnicas construtivas de menor impacto, otimizando o uso de recursos e reduzindo os resíduos gerados. A integração do BIM com simulações de carbono, como a ferramenta *CarbonTracker* da SYSTRA, permite que os gestores visualizem e quantifiquem as emissões associadas a diferentes cenários de construção, materializando o impacto das decisões de projeto. A ferramenta é configurável para diversos tipos de infraestruturas, como ferrovias e rodovias, e utiliza uma base de dados com fatores de emissão específicos que refletem a matriz energética de cada país, proporcionando precisão no cálculo das emissões de CO_2 ao longo do ciclo de vida do projeto.

Figura 2: Fundamentos do processo BIM



Fonte: Cardoso (2020).

No Brasil, embora ainda faltem regulamentações específicas para emissões de carbono na construção civil, já existem certificações como o selo Procel Edifica e a *LEED*, que incentivam práticas construtivas mais eficientes em termos de energia e com menor impacto ambiental [5]. O BIM pode facilitar a

adequação a essas normas, permitindo que os projetos atendam a critérios de sustentabilidade e eficiência energética desde a fase de concepção, alinhando-se aos objetivos das certificações e promovendo o uso de materiais de baixo impacto.

Além de reduzir emissões, a integração de microssimulações de carbono com o BIM permite a adaptação de estratégias de mitigação com base em dados reais, fornecendo um feedback imediato sobre o desempenho sustentável do projeto.

O *CarbonTracker*, por exemplo, é projetado para ajustar o impacto ambiental de acordo com os detalhes do projeto, o contexto local e as normas internacionais. Com isso, o BIM passa a ser uma ferramenta fundamental na construção de uma infraestrutura mais resiliente e em conformidade com regulamentos ambientais, especialmente em um cenário de crescente regulamentação de carbono.

Outro ponto relevante é que o uso do BIM contribui para a transparência e a previsibilidade dos impactos ambientais. Ao simular cenários com dados atualizados, o BIM permite projeções claras de custos e emissões, apoiando o setor a enfrentar desafios regulatórios e a alinhar-se ao mercado de economia verde, com instrumentos como títulos verdes e precificação de carbono.

A metodologia BIM, quando aplicada ao planejamento sustentável, torna-se um diferencial competitivo e prepara as empresas para um futuro de construção civil mais responsável e com menor impacto ambiental.

MÉTODO

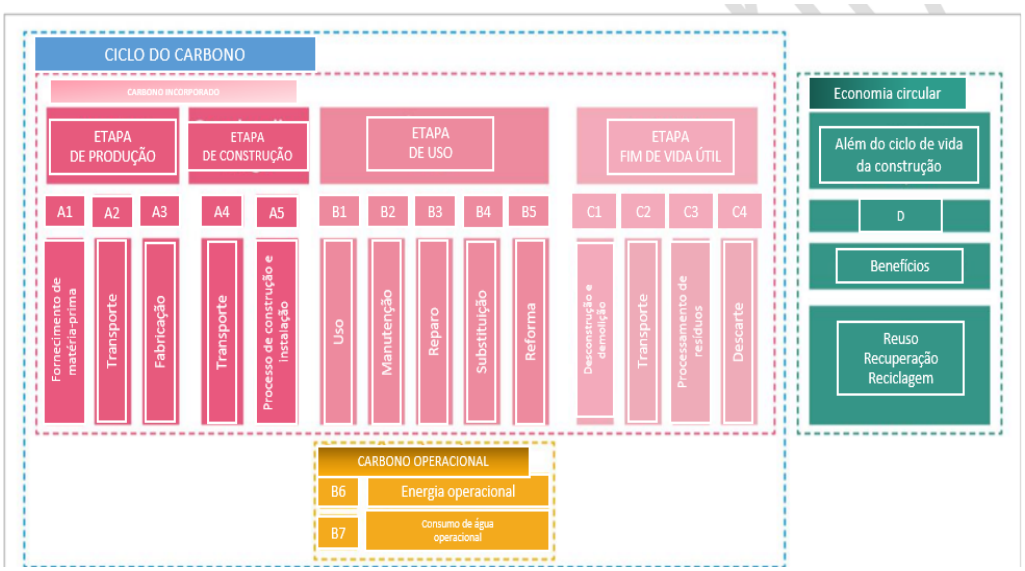
Este estudo adota uma metodologia que combina a revisão integrativa com a análise descritiva, explorando o impacto ambiental causado por infraestruturas de transporte e as formas como o BIM pode atuar para mitigá-lo. O processo começa com a coleta de dados detalhados sobre materiais, consumo energético e processos de construção, que são então integrados ao modelo BIM para realizar simulações de emissões de carbono.

Utilizam-se normas de avaliação do ciclo de vida, incluindo a ISO 14040, ISO 14044, EN 15978 e a PAS 2080, para garantir que os dados e resultados sejam padronizados e comparáveis com outros projetos sustentáveis. Esses padrões fornecem diretrizes sobre como avaliar e relatar as emissões de carbono, assegurando que cada etapa do ciclo de vida do projeto, desde a concepção até o descarte final, seja considerada.

O ciclo de vida do carbono em projetos de infraestrutura abrange desde a extração e produção de materiais até a construção, operação, manutenção e descarte final. Integrando o *CarbonTracker* ao BIM, é possível monitorar e calcular as emissões de cada fase, identificando os principais pontos de emissão e promovendo intervenções para reduzi-los.

A Figura 3, encontrada abaixo, ilustra o ciclo de vida do carbono, detalhando cada etapa – da produção até o fim de vida útil e o descarte. Este ciclo é fundamental para a análise de emissões, permitindo que o BIM e o *CarbonTracker* atuem na gestão contínua do impacto ambiental de um projeto de infraestrutura.

Figura 3: Ciclo do Carbono

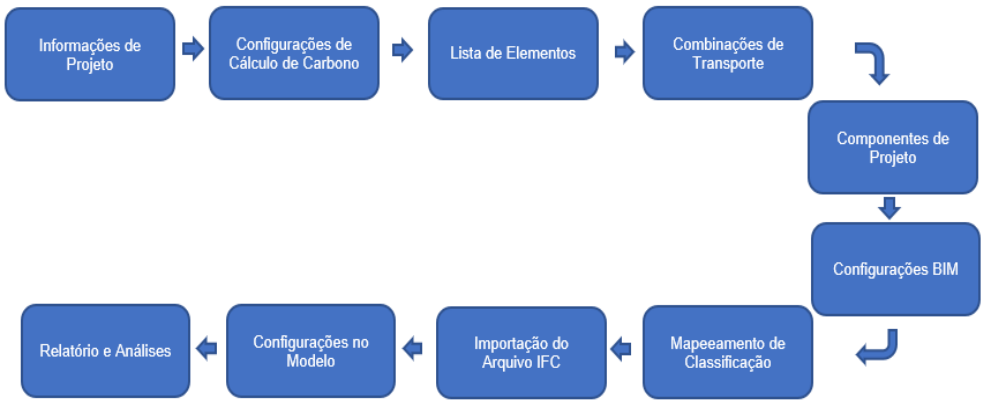


Fonte: SYSTRA (2024).

Esse monitoramento contínuo permite escolhas sustentáveis, como o uso de materiais de menor impacto e práticas de descarte mais eficientes, reduzindo a pegada de carbono ao longo de todas as fases do projeto e tornando o BIM uma ferramenta essencial para uma gestão ambiental abrangente e sustentável.

A metodologia envolve ainda o uso da ferramenta *CarbonTracker*, que, quando integrada ao modelo BIM, facilita uma visualização e análise em tempo real das emissões de carbono. A interface da ferramenta foi projetada para ser altamente intuitiva e interativa, permitindo que profissionais de diversas disciplinas insiram dados e ajustem parâmetros rapidamente, adaptando o projeto conforme as necessidades e as variáveis de sustentabilidade. Essa interface possibilita o acesso rápido a informações cruciais, como o impacto de materiais e processos em diferentes fases do projeto, e é compatível com várias fontes de dados BIM, oferecendo um ambiente centralizado para a tomada de decisões informadas.

Figura 4: Etapas de Projeto da Ferramenta

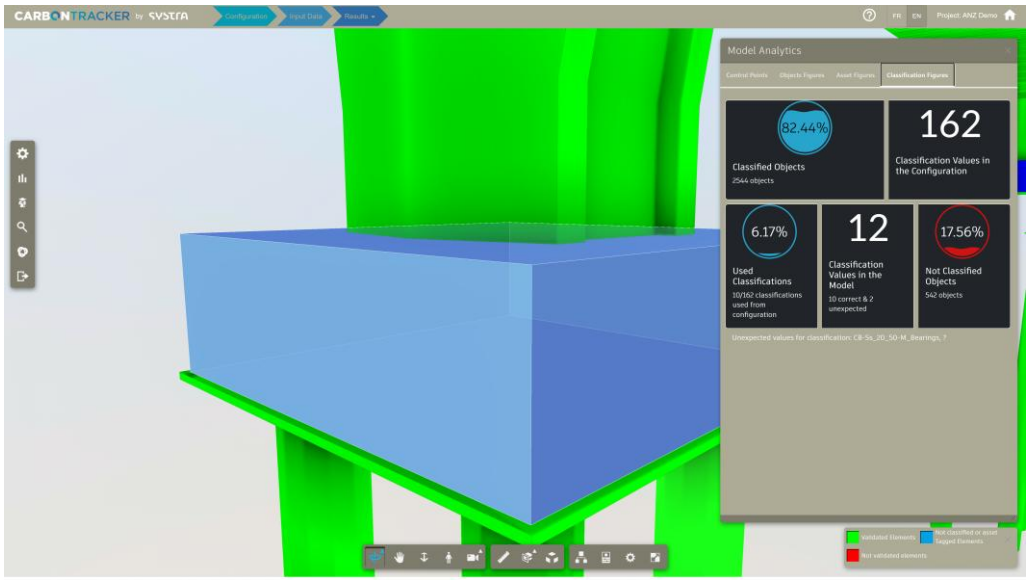


Fonte: autora (2024).

As Figuras 1 e 4 complementam-se ao ilustrar o processo de gestão de emissões de carbono no contexto da metodologia aplicada. A Figura 1 introduz os pilares estratégicos para uma gestão de baixo carbono — diagnóstico, implementação e divulgação —, enquanto a Figura 3 detalha as etapas práticas do projeto da ferramenta *CarbonTracker* no BIM, desde a configuração inicial até o monitoramento e entrega final. Essa combinação de figuras representa a transição entre o conceito estratégico de sustentabilidade e sua aplicação prática e estruturada.

A relação entre essas figuras fortalece a metodologia do estudo, que integra o BIM com ferramentas de simulação e monitoramento de carbono, seguindo normas internacionais como ISO 14040, ISO 14044 e PAS 2080. A interface colaborativa do BIM e a capacidade de visualização do *CarbonTracker* permitem uma análise precisa de componentes do modelo (Figura 5), e contínua das emissões, garantindo que todas as fases do ciclo de vida do projeto estejam alinhadas a práticas sustentáveis.

Figura 5: Análise de Componentes do Modelo



Fonte: SYSTRA (2024).

A Figura 6 demonstra a interface do *CarbonTracker*, exibindo dados como o número de componentes do projeto, arquivos BIM vinculados, progresso de extração e estimativa de redução de emissões.

Figura 6: Interface do *CarbonTracker* e Análise de Resultados



Fonte: SYSTRA (2024).

A visualização dos resultados em gráficos e diagramas de ciclo de vida, como os mostrados na figura, permite aos usuários identificarem as áreas de maior impacto ambiental e potencial de mitigação.

Essa organização visual das informações auxilia na tomada de decisões mais informadas e sustentáveis, promovendo o uso eficiente de recursos e a redução de emissões ao longo das diversas etapas do projeto.

Em conclusão, essa metodologia possibilita uma gestão integrada e dinâmica das emissões de carbono, demonstrando como o uso do BIM e do *CarbonTracker* apoia a implementação de uma infraestrutura de transporte mais sustentável e eficiente.

RESULTADOS

A presente pesquisa sugere que a integração do BIM com o *CarbonTracker* é uma abordagem eficaz para monitorar e gerenciar as emissões de CO_2 ao longo do ciclo de vida dos projetos de infraestrutura de transporte.

Essa ferramenta permite que os gestores avaliem as emissões em diferentes cenários (Figura 7), facilitando a visualização e quantificação do impacto de práticas sustentáveis, como o uso de materiais de baixo impacto ambiental e a adoção de fontes de energia renováveis, desde a fase inicial de concepção do projeto.

Figura 7: Interface para comparação de resultados para diferentes cenários



Fonte: SYSTRA (2024).

Com essa abordagem, o *CarbonTracker* traz potenciais benefícios econômicos e ambientais, otimizando o uso de materiais e reduzindo desperdícios. Essa otimização contribui para uma gestão mais sustentável dos recursos e pode levar à redução dos custos operacionais ao longo do tempo. O *CarbonTracker*, portanto, se posiciona como uma ferramenta valiosa para empresas que desejam aliar sustentabilidade e eficiência econômica em seus projetos de infraestrutura, promovendo uma abordagem integrada e orientada para práticas de baixo carbono.

Além dos benefícios ambientais e econômicos, o uso do BIM e de ferramentas de simulação de carbono, como o *CarbonTracker*, pode gerar um impacto social positivo. Infraestruturas sustentáveis ajudam a melhorar a qualidade de vida das comunidades, criando ambientes urbanos mais saudáveis e reduzindo os índices de poluição. A adoção dessas tecnologias também incentiva a criação de empregos especializados em construção sustentável, fortalecendo o mercado de trabalho e melhorando a competitividade das empresas no setor de infraestrutura, especialmente em um contexto de crescente demanda por práticas de baixo carbono e pela valorização da imagem das empresas comprometidas com a sustentabilidade.

CONCLUSÃO

A integração do BIM com a ferramenta *CarbonTracker* oferece uma abordagem eficaz para a gestão e redução de emissões de carbono em projetos de infraestrutura de transporte. Este estudo demonstrou como o BIM, aliado a ferramentas de simulação, permite uma análise precisa e contínua das emissões em cada etapa do ciclo de vida do projeto, possibilitando decisões informadas e alinhadas aos objetivos de sustentabilidade.

Para empresas interessadas em aplicar essa metodologia, algumas recomendações práticas podem facilitar sua implementação. Investir em capacitação de equipes para maximizar o uso das ferramentas e interpretar resultados de maneira eficaz é essencial. Além disso, estabelecer uma base de dados confiável sobre materiais e consumo energético, adaptada ao contexto local, assegura a precisão das simulações. A implementação em etapas, começando pela coleta de dados e avançando gradualmente para integrações mais complexas, ajuda na adaptação e no sucesso da metodologia. Essas práticas tornam o BIM e o *CarbonTracker* uma solução prática e estratégica para enfrentar os desafios de

sustentabilidade, oferecendo um diferencial competitivo e garantindo uma infraestrutura mais responsável e alinhada as regulamentações ambientais.

REFERÊNCIAS

[1] ABD. Building The Future Of Quality Infrastructure. Asian Development Bank Institute, 2020. Disponível em: https://www.adb.org/sites/default/files/publication/577031/adbi-building-future-quality-infrastructure.pdf. Acesso em: outubro de 2024.

[2] Kibert, C. J. Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery. John Wiley & Sons, 2016.

[3] Khemlani, L. "The business value of BIM for sustainability". AECbytes, 84, 2017.

[4] Azhar, S., Carlton, W. A., Olsen, D., & Ahmad, I. "Building Information Modeling for sustainable design and LEED® rating analysis". Automation in Construction, 20(2), 217-224, 2011.

[5] Brasil. Selo Procel Edifica: Eficiência Energética para Edificações. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/procel. Acesso em: outubro de 2024.

[6] Confederação Nacional da Indústria (CNI). Estratégias Corporativas de Baixo Carbono: Gestão de Riscos e Oportunidades. Brasília: CNI, 2011.

[7] EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 2. ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2011.

[8] PNUMA. 2020 Global Status Report for Buildings and Construction. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2020. Disponível em: https://globalabc.org/news/launched-2020-global-status-report-buildings-and-construction. Acesso em: outubro de 2024.

[9] World Bank. Sustainable Transport and Infrastructure: World Bank Annual Report 2021. World Bank Group, 2021.

[10] WRI Brasil. Uma Nova Economia Para Uma Nova Era: Elementos para a Construção de uma Economia Mais Eficiente e Resiliente para o Brasil. World Resources Institute Brasil, 2020. Disponível em: https://www.wribrasil.org.br/sites/default/files/af_neb_synthesisreport_digital.pdf. Acesso em: outubro de 2024.

Usos BIM em projetos de terminais de passageiros e instalações aeroportuárias, integrando conceitos de eficiência energética em prol de certificações ambientais.

BIM uses in projects for terminals and airport facilities, integrating energy efficiency concepts to achieve environmental certifications.

Jaqueline Ferreira de Lima Brito | arqjaquelinebrito@gmail.com

DOI: 10.5281/zenodo.14479818

Resumo

Na viabilidade e análise energética de uma edificação, diversos fatores são essenciais para a concepção do projeto. Nesse estudo, é vital considerar conceitos urbanísticos, de conforto térmico e ambiental, bem como a relação entre os materiais utilizados, tendo como referência a sustentabilidade e os conceitos bioclimáticos. Diante da crescente demanda por projetos sustentáveis, a tecnologia BIM (Modelagem de Informações da Construção), aliada ao software REVIT, tornou-se uma ferramenta indispensável na criação de Terminais de Passageiros (TPS) em nível nacional. Em edificações públicas, é crucial projetar com foco na economia, na interoperabilidade de sistemas de manutenção predial e na redução de energia, utilizando corretamente os materiais construtivos em conformidade com as normas da ABNT, como a NBR 15.220, que trata do Desempenho Térmico das edificações. É fundamental considerar as variáveis climáticas regionais para garantir um excelente projeto de TPS. A elaboração do estudo de viabilidade, conforme a NBR 16.636-2, e do BEP (Plano de Execução BIM) são etapas cruciais para obter um projeto de qualidade. Onde a metodologia utilizada neste artigo foi a bibliográfica, baseada em diversos estudos sobre eficiência energética em BIM, referenciados ao longo do texto. Através do método de simulação computacional da plataforma PROJETEEE - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes e da Instrução Normativa do Inmetro (INI- C), [8] foi evidenciada a importância de considerar os aspectos bioclimáticos na seleção de materiais para a envoltória de terminais de passageiros na região do Pará. Este estudo também enfatizou como a concepção do projeto de arquitetura pode contribuir para soluções ambientais e de conforto térmico. Destacando-se a análise e redução dos ganhos de calor em edificações aeroportuárias, especialmente em regiões quentes e úmidas como Belém do Pará, na região norte. Em virtude da abordagem explanada ao longo deste artigo, foi estudado a importância dos conceitos de geometria solar e de sustentabilidade na elaboração de projetos arquitetônicos em TPS. Contudo foi considerado o estudo do emprego de materiais construtivos que ofereçam maior conforto térmico para a edificação na região norte, que devido a particularidade de possuir um clima quente e úmido afeta o comportamento dos materiais na concepção da construção, dessa forma considerando os conceitos de geometria solar na edificação evita-se o desperdício de energia elétrica, além de trazer conforto térmico aos ocupantes dessas edificações, em se tratando de um terminal de passageiros a rotatividade de pessoas é considerável ao longo do dia, e entendendo a forma de como esses materiais empregados atuam nas trocas de calor entre a parte interna e externa dessas edificações, tornando-se fundamental para a finalidade do projeto de arquitetura que é garantir conforto ambiental, desenvolvendo técnicas cada vez mais eficazes para este fim, mostrando a importância desses materiais empregados na envoltória do edifício e na utilização de materiais sustentáveis como exemplo, o uso do Steel Frame que demonstram boas soluções de construção seca, assim como nas metodologias de concepção do projeto usando conceitos pautados na certificação ambiental.

Palavras-chave: Conforto Térmico. Eficiência Energética. Bim.

Abstract

In the feasibility and energy analysis of a building, several factors are essential for the design of the project. In this study, it is vital to consider urban concepts, thermal and environmental comfort, as well as the relationship between the materials used, with sustainability and bioclimatic concepts as a reference. Faced with the growing demand for sustainable projects, BIM technology (Construction Information Modeling), combined with REVIT software, has become an indispensable tool in the creation of Passenger Terminals (TPS) at a national level. In public buildings, it is crucial to design with a focus on economy, interoperability of building maintenance systems and energy reduction, correctly using construction materials in accordance with ABNT standards, such as NBR 15.220, which deals with the Thermal Performance of buildings. It is essential to consider regional climatic variables to ensure an excellent TPS project. The preparation of the feasibility study, in accordance with NBR 16.636-2, and the BEP (BIM Execution Plan) are crucial steps to obtain a quality project. Where the methodology used in this article was bibliographic, based on several studies on energy efficiency in BIM, referenced throughout the text. Through the computer simulation method of the PROJETEEE platform - Designing Energy Efficient Buildings and the Inmetro Normative Instruction (INI-C), [8] the importance of considering bioclimatic aspects in the selection of materials for the envelope of passenger terminals in the Pará region. This study also emphasized how the design of the architectural project can contribute to environmental and thermal comfort solutions. Highlighting the analysis and reduction of heat gains in airport buildings, especially in hot and humid regions such as Belém do Pará, in the northern region. Due to the approach explained throughout this article, the importance of the concepts of solar geometry and sustainability in the development of architectural projects in TPS was studied. However, the study of the use of construction materials that offer greater thermal comfort for buildings in the northern region was considered, which, due to the particularity of having a hot and humid climate, affects the behavior of materials in the design of construction, thus considering the concepts of geometry solar energy in the building avoids wasting electrical energy, in addition to providing thermal comfort For the occupants of these buildings, in the case of a passenger terminal, the turnover of people is considerable throughout the day, and understanding the way in which these materials used act in the heat exchange between the internal and external part of these buildings, becoming fundamental to the purpose of the architectural project, which is to guarantee environmental comfort, developing increasingly effective techniques for this purpose, showing the importance of these materials used in the building envelope and the use of sustainable materials, such as the use of Steel Frame, which demonstrate good dry construction solutions, as well as project design methodologies using concepts based on environmental certification.

Keywords: Thermal Comfort. Energy Efficiency. BIM.

INTRODUÇÃO

Analisaremos a concepção de um projeto aeroportuário voltado para um terminal de passageiros de pequeno porte, destinado a atender os usos BIM (Modelagem da Informação da Construção). Dado o considerável tráfego de passageiros nesses espaços, é essencial que as instalações atendam às normativas de conforto térmico. Nesse contexto, para orientar a concepção, recorreremos a uma pesquisa bibliográfica que se baseia em metodologias de estudo, como envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Sendo explanado a avaliação de eficiência energética segundo a Instrução Normativa do Inmetro INI-C para edificações públicas, sendo feita com base no consumo de energia primária.

Essa avaliação compara o consumo real da edificação com um padrão de referência equivalente, representado pela classificação D. Onde este artigo oferece uma abordagem mais fluida e clara sobre os objetivos, métodos e certificações almejadas para o projeto do terminal de passageiros. Seu escopo abrange eficiência energética, qualidade do ar interno, refrigeração e sustentabilidade na indústria da construção.

Relacionando essas práticas ao modelo BIM, onde representa uma das métricas utilizadas pela Autodesk insight 360. Esse conceito sobre a métrica de kWh/m² ao ano é uma medida fundamental para avaliar a eficiência energética de edifícios, sendo comparada com os padrões estabelecidos pela Ashrae 90, e pela Architecture 2030. Dessa forma, essas métricas são essenciais para a certificação e

avaliação da eficiência dos edifícios, sendo aferidas por meio de análises em nuvem realizadas pelo plugin Insight 360. Essa utilização oferece um quadro claro do consumo de energia por unidade de área ao longo de um ano, permitindo comparações importantes com os padrões estabelecidos por ambas as certificações.

> *O terminal de passageiros (TPS) é a parte do complexo aeroportuário que o passageiro tem maior contato direto. A maioria das percepções em termos de conforto, eficiência, segurança dos passageiros com relação ao "aeroporto" depende do terminal de passageiros. Por isso o edifício do TPS ganha uma grande importância, tanto em termos de custos, quanto em termos de pesquisas visando facilitar o processo de "interface" entre os modais terrestres e o modal aéreo. (ALVES, 1981:01) [3].*

MÉTODO

BIM E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.

Com o avanço das técnicas construtivas em prol do desenvolvimento sustentável, é possível através das escolhas dos materiais de vedação, como os acabamentos e cobertura que apresentem índices de refletância favoráveis diminuindo a temperatura nos ambientes, de forma que os materiais apresentem índices baixos de absorção das cargas térmicas contribuindo de forma a manter o resfriamento nos ambientes internos. No entanto nem todas as edificações poderão usufruir da ventilação direta.

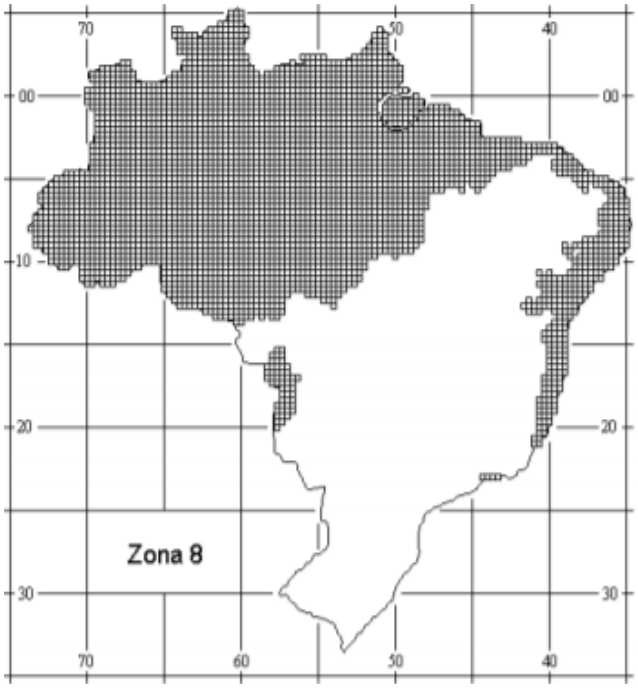
Algumas devido à sua natureza, deverão passar a maior parte do tempo refrigeradas artificialmente, de forma a manter o resfriamento nesses ambientes (permanência de usuários, equipamentos elétricos, iluminação artificial) [1].

VENTILAÇÃO E CONFORTO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO

O principal objetivo do uso de sistemas de ar-condicionado, é proporcionar condições para o conforto térmico humano. Assim como a falta de controle de umidade em climas quentes e úmidos, em particular podem levar ao crescimento de mofo e outros problemas relacionados à umidade. Em excesso podendo causar problemas de saúde e conforto [4].

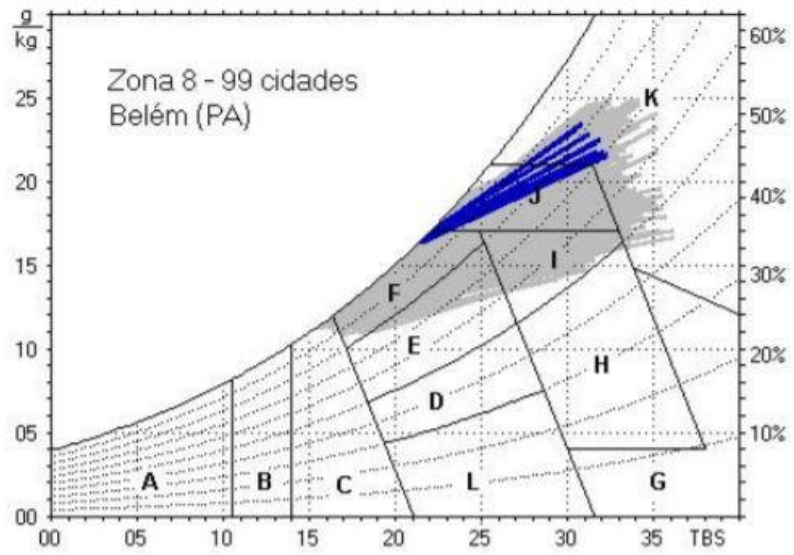
No entanto antes de analisarmos o desempenho térmico do terminal de passageiros primeiramente devemos classificá-lo conforme a zona bioclimática correspondente. De acordo com a ABNT NBR 15220-3 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro [1] e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Ver figura 01 e 02.

Figura 01– Zona Bioclimática 8.



Fonte: ABNT NBR 15220-3.https://labeee.ufsc.br.Acesso em: 06 de dez.de 2020.

Figura 02 – Carta Bioclimática apresentando as normas climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Belém, PA.



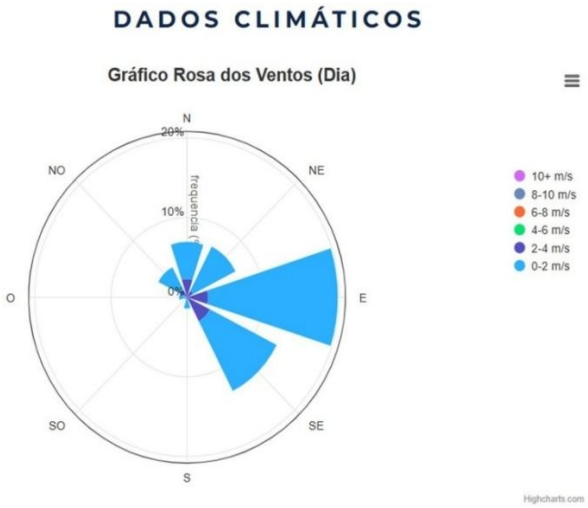
Fonte: ABNT NBR 15220-3. https://labeee.ufsc.br. Acesso em: 06 de dez.de 2023.

Ainda segundo esta norma ABNT (NBR 15220-3,2003:9)[1] “ Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.[1]”

De acordo com [5]. “O resfriamento fisiológico é o terceiro objetivo da ventilação. Tal resfriamento refere-se ao efeito refrescante provocado pela evaporação do suor da pele e pelas trocas de calor por convecção, que ocorrem quando o fluxo de ar entra em contato com o corpo humano” [8]. No entanto

a intensidade desse resfriamento se transforma em decorrência da variante e da temperatura do ar, no entanto esse efeito depende do fluxo de ar e da umidade relativa. Conforme Gráfico 01.

Gráfico 01 – Simulação da frequência de ventos na cidade de Belém/PA.



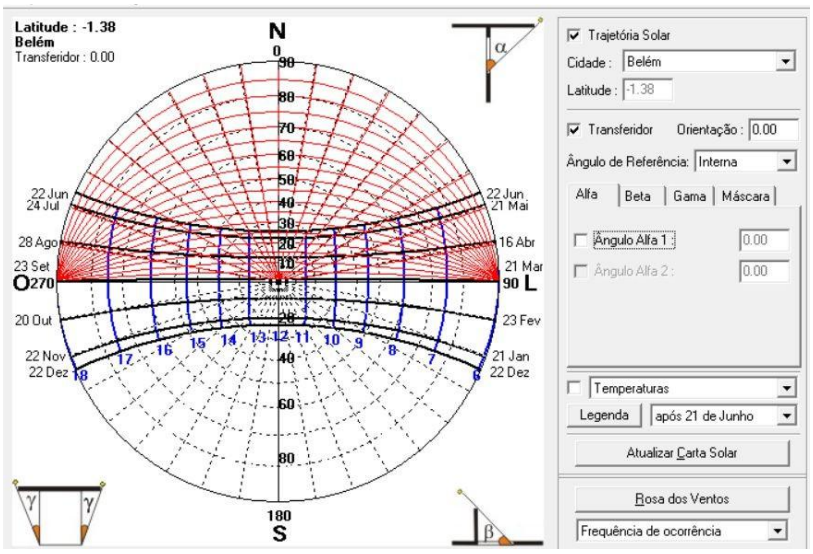
Fonte: Os arquivos climáticos adotados pela plataforma são os arquivos climáticos INMET 2016, disponíveisparadownloademhttp://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016.

EMPREGO DA CARTA SOLAR NOS COMPONENTES ARQUITETÔNICOS DO TERMINAL DE PASSAGEIROS E AS PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS.

IMPLANTAÇÃO E ESTUDO DE CONFORTO, AS TROCAS TÉRMICAS E DEFINIÇÕES.

Ao iniciar o estudo de um projeto arquitetônico, deve-se avaliar fatores fundamentais considerando a locação, devendo ser realizado o estudo de carta solar (Figura 3) onde será avaliada a direção dos ventos predominantes, assim como a direção do Sol variando entre a nascente e o poente, sendo estes fatores determinantes para definir as trocas térmicas e o conforto térmico dos usuários na edificação.

Figura 3 – Carta Solar, Latitude 1.38º, medição após 21 de junho, para cidade de Belém/PA.

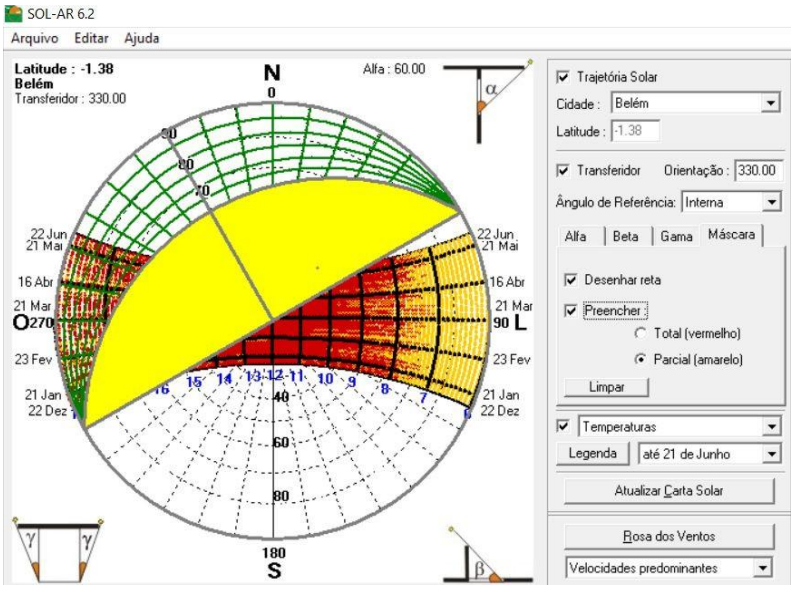


Fonte: Sol-ar 62, LabEEE-UFSC.

BRISES VERTICAIS, HORIZONTAIS E BEIRAIS

No que se refere à escolha do tipo de abertura que será proposto no projeto arquitetônico do Terminal de Passageiros, dependerá da função estabelecida por cada ambiente, nesse aspecto foi trabalhado alguns tipos de janelas, dentre as quais, a maioria, atuarão como (iluminação natural, controle de ruídos e de intempéries causados pela ação do sol e chuva) não podendo ser utilizadas nas trocas de ar. Devido à utilização de ar condicionado, e por motivo de segurança de protocolo aeroportuário, as janelas dispostas do lado da pista não deverão possuir aberturas, portando deverão ser fixas, logo a edificação terá os renovadores de ar que são sistemas que atuarão nessa renovação do ar nos ambientes internos e que também atuarão nos fatores do conforto térmico. Conforme a Figura 4.

Figura 4 – Máscara, estudo de proteção horizontal como medida de sombreamento máximo.



Fonte: Sol-ar 62, LabEEE-UFSC (2023).

RESULTADOS

MATERIAIS CONSTRUTIVOS EMPREGADOS NA ENVOLTÓRIA EM TERMINAIS DE PASSAGEIROS E INSTALAÇÕES AEROPORTUÁRIAS EM BIM.

Na escolha dos materiais a serem empregados no projeto arquitetônico do TPS foi dado a prioridade ao conforto térmico e a sustentabilidade assim como na utilização de materiais altamente racionalizados no que condiz ao uso da utilização dos fechamentos opacos e nos elementos transparentes, constituintes da envoltória do terminal de passageiros.

A atual Instrução Normativa do Inmetro [6] estabelece critérios e métodos para classificar a eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, como objetivo de certificar e etiquetar essas construções. O escopo desta INI-C é assegurar que as edificações avaliadas cumpram as normas técnicas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) [1] vigentes e aplicáveis. Detalhando os procedimentos para determinar a classificação de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos. Essa classificação pode ser abrangente, considerando todos os aspectos, ou parcial, focalizando áreas específicas do desempenho energético das edificações. Como mostra a figura 5.

Figura 5 – Combinações possíveis entre os sistemas individuais e os métodos de avaliação simplificado e de simulação.

			Método de simulação					
			Envoltória		Iluminação Natural	Iluminação artificial	Condic. de ar	Aquecimento de água
			Edif. CA	Edif. VN				
Método simplificado	Envoltória	Edif. CA		✓	✓	✓	×	×
		Edif. VN	×		✓	✓	×	×
	Iluminação Natural		✓	✓		✓	×	×
	Iluminação artificial		✓	✓	✓		✓	×
	Condicion. de ar		×	×	✓	✓		×
	Aquecimento de água		✓	✓	✓	✓	✓	

Fonte: Portaria Nº42, Brasil, 2023.

De acordo com a ABDI [2]. A simulação energética computacional desempenha um papel crucial na análise e resolução de desafios complexos ao longo do processo de projeto. Ela possibilita a quantificação e avaliação do desempenho energético de uma edificação ou sistema. Durante a fase preliminar do projeto, as equipes podem utilizar ferramentas de simulação computacional integradas às aplicações BIM (Modelagem de Informações da Construção) para estabelecer valores padrão relacionados a cargas internas, padrões de uso e outras características dos sistemas. Embora esses valores padrão sejam úteis para compreender e identificar o comportamento das opções disponíveis, é crucial salientar que eles não oferecem uma análise precisa em termos de consumo energético. Conforme figura 06.

Figura 06 – Especificação do Nível de Desenvolvimento com relação ao modelo de energia.

ND	Arquitetura BIM	Modelo de energia	Objetivo da análise energética
200		Localização, orientação, geometria da edificação e zoneamento por orientação e core (5 zonas). Outros dados de entrada apresentam valores *default*.	Análise rápida do impacto das variáveis consideradas.
300		Zoneamento por orientação e core (5 zonas). Elementos construtivos, sistemas e padrão de uso com valores *default*.	Comparação com o desempenho de projetos reais; análise intermediária com base em normas de desempenho.
350		Definição das características dos elementos construtivos, sistemas e padrões de uso. Definição das zonas térmicas de acordo com os sistemas e padrões de uso do projeto.	Análise do impacto das mudanças dos valores *default*. Aprovação das alterações com base nos requisitos de desempenho energético do projeto.
400		Modelo detalhado com todas as características de projeto.	Nível final do desempenho energético do projeto.

Fonte:GDP.Apud.ABDI.2017.

Esse tipo de sistema é considerado extremamente eficiente em virtude de ser utilizado em seus componentes estruturas de perfis de aço galvanizado, assim como seu fechamento é composto de placas podendo se caracterizar dependendo do uso, podendo ser painéis cimentícios (utilizado em banheiros e áreas molhadas), de madeira como as placas de gesso acartonado conhecidas como drywall, isopaineis, painéis termoacústicos, dentre outros.

No que condiz aos componentes construtivos de elementos translúcidos como os vidros em esquadrias ao longo das fachadas, existem variedade de vidros (simples/transparente, vidro verde, películas e vidros absorventes/fumês, vidros reflexivos). No que se refere à natureza dos fechamentos transparentes eles podem ser de três tipos básicos de trocas térmicas: Condução, convecção e radiação. Conforme [7]. “Com relação às duas primeiras, o comportamento é semelhante ao dos fechamentos opacos, acrescentando aos transparentes a possibilidade do controle das trocas de ar entre Interior e exterior, basicamente ao abri-los ou fechá-los”.

A fachada oeste do TPS onde terá a maior quantidade de elementos em vidro, será a mais exposta à luz direta, em decorrência disso, a compensação será na proteção solar dos vidros das portas e painéis fixos ao longo dessas fachadas de modo a proteger a incidência de raios UV para o interior desses ambientes. Causando a redução na entrada de calor nos ambientes, assim como na economia de energia e do custo de utilização do ar-condicionado ocasionando proteção e conforto térmico a seus ocupantes.

CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL.

As certificações são requisitos de sustentabilidade destinadas a projetos e edificações que atendem e passam por um conjunto de metodologias de avaliação de desempenho. Contudo os empreendimentos que comprovem um maior número de requisitos do sistema de avaliação de sustentabilidade são aptos a adquirirem a certificação, podendo abranger as esferas ambiental, social e econômica. Existem em vários países diversos tipos e categorias de certificações, levando em consideração edificações já existentes adaptadas para certificação, assim como em novos empreendimentos medidos em relação ao seu uso e desempenho.

Quanto à delimitação de avaliação de certificação do TPS, ainda segundo o Manual caberia a certificação PROCEL / RTQ-C, que trata dos edifícios comerciais, de serviços públicos, contemplando requisitos relativos ao desempenho da envoltória, à eficiência e potência instalada do sistema de iluminação e à eficiência do sistema de condicionamento de ar. A classificação final é dada conforme o nível de eficiência alcançado nestes três sistemas individuais: envoltória; sistema de iluminação; e sistema de condicionamento de ar.

CONCLUSÃO

Em virtude da abordagem explanada ao longo deste artigo, foi estudada a importância dos conceitos de geometria solar e de sustentabilidade na elaboração de projetos arquitetônicos de Terminais de Passageiros TPS. Contudo foi considerado o estudo do emprego de materiais construtivos que ofereçam maior conforto térmico para a edificação na região norte, que devido à particularidade de possuir um clima quente e úmido afeta o modo do comportamento dos materiais na construção, dessa forma considerando os conceitos de geometria solar na edificação evita-se o desperdício de energia elétrica, além de trazer conforto térmico aos ocupantes dessas edificações, em se tratando de um terminal de passageiros a rotatividade de pessoal é considerável ao longo do dia, e entendendo a forma de como esses materiais empregados atuam nas trocas de calor entre a parte interna e externa dessas edificações torna-se fundamental para a finalidade do projeto de arquitetura que é garantir

conforto ambiental, desenvolvendo técnicas cada vez mais eficazes para este fim, mostrando a importância desses materiais empregados na envoltória do edifício e na utilização de materiais sustentáveis como exemplo o uso de steel frame que demonstram em boas soluções de construção seca, assim como nas metodologias de concepção do projeto usando conceitos pautados na certificação ambiental.

REFERÊNCIAS

[1] ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR15220 -3 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Estabelece um zoneamento bioclimático brasileiro, abrangendo um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social, 2003.

[2] AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Avaliação de desempenho Energético em Projetos BIM: Coletânea Guias BIM ABDI -MDIC/Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. – Brasília, DF. Vol. 5; p. 22. ABDI, 2017.

[3] ALVES, C.J.P. Uma metodologia para dimensionamento e avaliação de terminais de passageiros em aeroportos brasileiros.(Módulo7 –Terminal de Passageiros).Tese de Mestrado, USP,1981.

[4] ASHRAE – American Society of Keating, refrigera Ting and. air-conditioning engineers. Ashrae Handbook of Fundamentals – Chapter18 –Non Residential Cooling and Heating Load Calculations. Atlanta, 2013. Disponível em <https://www.ashrae.org/technical- resources>> Acesso em 19 de Nov. de 2020.

[5] BITTENCOURT,L ; CÂNDIDO,C. Ventilação Natural em Edificações – Rio de Janeiro, agosto/2010.

[6] INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA ,QUALIDADE E TECNOLOGIA. Anexo Geral V da Portarian.º50, de 1 de fevereiro de 201.Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros, 2013. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/AnexoV_CatalogoPropriedadesTermicas%20v27NOV2017.pdf.

[7] LAMBERTS, R; DUTRA, L;PEREIRA, F. O .R. Eficiência energética na arquitetura,-3.Ed. – ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

[8] PROJETEEE. Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. 2022. Disponível em:. Acesso em: 01 de agosto de 2022.

7º Congresso Internacional A ERA BIM – SINAENCO
São Paulo, SP, Brasil
26 a 28 de novembro de 2024

Gerenciamento integrado em BIM: vinculando dados da obra ao modelo 3D

BIM Management: linking construction data to the 3D model

Juliana Scanoni Silva | TPF Engenharia | juliana.silva@tpfe.com.br
Anna Júlia Gomes Ribeiro | TPF Engenharia | anna.ribeiro@tpfe.com.br
Mariana Prysthon Moraes | TPF Engenharia | mariana.moraes@tpfe.com.br
Carlos Ivan Santos do Amaral | TPF Engenharia | carlos.ivan@tpfe.com.br
Felipe Leal Barros | TPF Engenharia | felipe.barros@tpfe.com.br

DOI: 10.5281/zenodo.14930838

Resumo

A complexidade dos projetos de engenharia é um aspecto intrínseco ao setor, que abrange uma ampla gama de disciplinas e regulamentações. Cada uma dessas disciplinas apresenta seus próprios desafios, que precisam ser rigorosamente seguidos para garantir a conformidade e a eficácia na execução. Além disso, essa complexidade é frequentemente amplificada por desafios logísticos, climáticos e ambientais, os quais podem impactar significativamente a eficiência da execução das obras. Em um contexto tão desafiador, é essencial que os profissionais do setor tenham acesso a ferramentas que lhes permitam gerenciar e monitorar o progresso de forma eficaz. Neste cenário, este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma plataforma inovadora que integra a visualização tridimensional (3D) de projetos com a gestão de tempo, custos e qualidade. A tecnologia foi concebida com o objetivo principal de aprimorar o acompanhamento das obras e a eficiência na tomada de decisões, oferecendo uma solução robusta e alinhada às necessidades contemporâneas do setor. Um ponto a ser destacado é a integração dessa plataforma com um software desenvolvido internamente, que reúne em um único ambiente todos os aspectos de gerenciamento de grandes obras, programas de investimentos e serviços complexos que exigem a gestão de diversos requisitos das partes interessadas. A integração com esse banco de dados resultou em um monitoramento mais assertivo, permitindo a otimização do tempo e uma maior economia dos recursos disponíveis. Para atingir o desenvolvimento dessa plataforma, uma equipe multidisciplinar adotou uma abordagem que combina práticas de gerenciamento ágil com tecnologias de ponta. A estruturação do modelo 3D foi fundamentada em conceitos da *Work Breakdown Structure* e orientações do Plano de Execução BIM, alavancando a expertise das equipes de projeto e gerenciamento. A plataforma foi desenvolvida utilizando uma combinação de tecnologias como JavaScript, ReactJS e Node.js, em conjunto com os serviços da Autodesk Platform Services (APS). Essa combinação resultou em uma solução modular, flexível e escalável, capaz de se adaptar a diferentes tipos de projetos e às necessidades específicas de cada obra. Os resultados obtidos com a plataforma demonstram uma melhoria significativa na identificação de problemas e na gestão proativa, permitindo uma abordagem mais ágil e eficaz na administração de projetos. A capacidade de conectar a visualização 3D com dados de gerenciamento em tempo real melhora a transparência e a acessibilidade das informações, proporcionando aos stakeholders uma visão clara e atualizada do andamento da obra. Essa integração facilita a interação entre as equipes, melhorando a comunicação e a colaboração. Além disso, a visualização em 3D permite identificar rapidamente oportunidades de melhoria e implementar intervenções ágeis, resultando em menores atrasos e custos. As principais contribuições deste trabalho residem na capacidade da tecnologia de otimizar o gerenciamento de obras, promovendo uma gestão mais integrada e eficiente. A

plataforma não apenas melhora a eficiência operacional, mas também eleva a qualidade do produto, assegurando que os projetos sejam realizados dentro dos prazos e orçamentos estabelecidos. A flexibilidade da ferramenta permite sua aplicação em diversos contextos de projeto, aumentando sua utilidade em diferentes segmentos da construção civil.

Palavras-chave: BIM. Visualização Tridimensional. Tecnologias. Autodesk Platform Services. Gerenciamento de Obras.

Abstract

The complexity of engineering projects is an intrinsic aspect of the sector, which encompasses a wide range of disciplines and regulations. Each of these disciplines presents its own challenges, which must be rigorously followed to ensure compliance and effectiveness in execution. In addition, this complexity is often amplified by logistical, climatic and environmental challenges, which can significantly impact the efficiency of construction work. In such a challenging context, it is essential that professionals in the sector have access to tools that allow them to manage and monitor progress effectively. In this scenario, this paper presents the development of an innovative platform that integrates three-dimensional (3D) visualization of projects with time, cost and quality management. The technology was designed with the main objective of improving construction monitoring and decision-making efficiency, offering a robust solution aligned with the contemporary needs of the sector. A highlight is the integration of this platform with internally developed software, which brings together in a single environment all aspects of managing large projects, investment programs and complex services that require the management of various stakeholder requirements. Integration with this database resulted in more assertive monitoring, allowing for time optimization and greater savings of available resources. To develop this platform, a multidisciplinary team adopted an approach that combines agile management practices with cutting-edge technologies. The structuring of the 3D model was based on concepts from the Work Breakdown Structure and guidelines from the BIM Execution Plan, leveraging the expertise of the design and management teams. The platform was developed using a combination of technologies such as JavaScript, ReactJS and Node.js, in conjunction with services from Autodesk Platform Services (APS). This combination resulted in a modular, flexible and scalable solution, capable of adapting to different types of projects and the specific needs of each site. The results obtained with the platform demonstrate a significant improvement in problem identification and proactive management, allowing for a more agile and effective approach to project management. The ability to connect 3D visualization with real-time management data improves transparency and accessibility of information, providing stakeholders with a clear and up-to-date view of the progress of the project. This integration facilitates interaction between teams, improving communication and collaboration. In addition, 3D visualization allows for quick identification of opportunities for improvement and implementation of agile interventions, resulting in reduced delays and costs. The main contributions of this work lie in the technology's ability to optimize construction management, promoting more integrated and efficient management. The platform not only improves operational efficiency, but also increases product quality, ensuring that projects are completed within the established deadlines and budgets. The flexibility of the tool allows its application in different project contexts, increasing its usefulness in different segments of civil construction.

Keywords: BIM. Three-dimensional Visualization. Technologies. Autodesk Platform Services. Construction Management.

INTRODUÇÃO

Um estudo da McKinsey Brasil mostrou que gestores de projetos frequentemente se deparam com a difícil realidade de que os empreendimentos extrapolam de forma significativa os limites previamente definidos de orçamento e cronograma. Aproximadamente 80% dos projetos enfrentam aumentos expressivos nos custos e atrasos de até 20 meses na entrega final [1]. Dito isso, a utilização da metodologia *Building Information Modeling* (BIM) tem se consolidado como uma alternativa eficaz para modernizar o planejamento de obras [2].

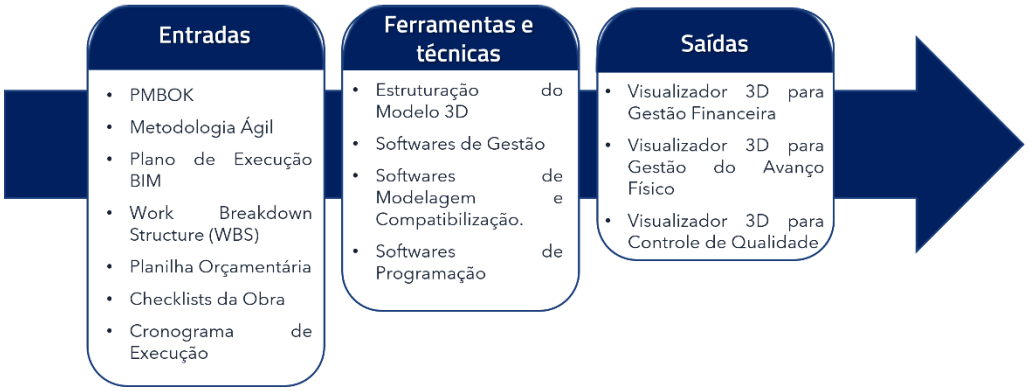
O objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento próprio de uma ferramenta que potencializa a eficiência da gestão da obra através do BIM, o 3D Viewer. A tecnologia surge para mitigar os problemas comuns por meio da sua capacidade avançada de visualização, integração de dados

multidisciplinares e gestão macro de projetos. A tecnologia foi integrada a um software desenvolvido internamente, que reúne em um só ambiente todos os aspectos de gerenciamento de grandes obras, programas de investimentos e serviços complexos que exigem a gestão de diversos requisitos das partes interessadas, o Plug (Plataforma Única de Gerenciamento). Como resultado, a solução proporcionou um monitoramento mais preciso, otimização de tempo e recursos com tomada de decisões ágil e eficaz.

METODOLOGIA

Com base no estudo realizado por Scanoni [3], a criação do 3D Viewer foi desenvolvida de forma organizada por uma equipe multidisciplinar, seguindo as melhores práticas descritas no PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*) e utilizando uma abordagem ágil. Para isso, foi utilizada a lógica ITTOs [4]: (1) *inputs*, (2) *tools and techniques* e (3) *outputs* (Entradas, ferramentas e técnicas, Saídas), demonstrado na figura abaixo (Figura 1).

Figura 1: ITTOS (Fluxo de execução do 3D Viewer)



Fonte: Scanoni et. al, 2024 [3] (Adaptado)

Ao longo do ciclo de vida do projeto, os documentos utilizados passaram por melhorias contínuas. Além disso, novos documentos e partes interessadas foram integrados até a conclusão do projeto, o que reforçou a escolha da metodologia ágil como a mais adequada para lidar com as constantes mudanças e evoluções ao longo do processo.

ENTRADAS

O desenvolvimento do 3D Viewer foi orientado por uma série de entradas que guiaram o processo de integração e otimização da tecnologia, compreendendo:

- PMBOK: as diretrizes do PMBOK foram adotadas para garantir o gerenciamento eficaz dos recursos, prazos, riscos e qualidade durante todo o projeto.
- Metodologia Ágil: a abordagem ágil foi implementada para garantir flexibilidade e adaptação contínua ao longo do desenvolvimento do projeto. Através de iterações curtas e colaborativas, as necessidades e ajustes foram incorporados de maneira dinâmica.
- Plano de Execução BIM (PEB): o PEB foi fundamental para coordenar a interação entre todas as disciplinas envolvidas.
- *Work Breakdown Structure* (WBS): a WBS foi utilizada para decompor o projeto em partes gerenciáveis, facilitando a integração entre o modelo 3D e o banco de dados.

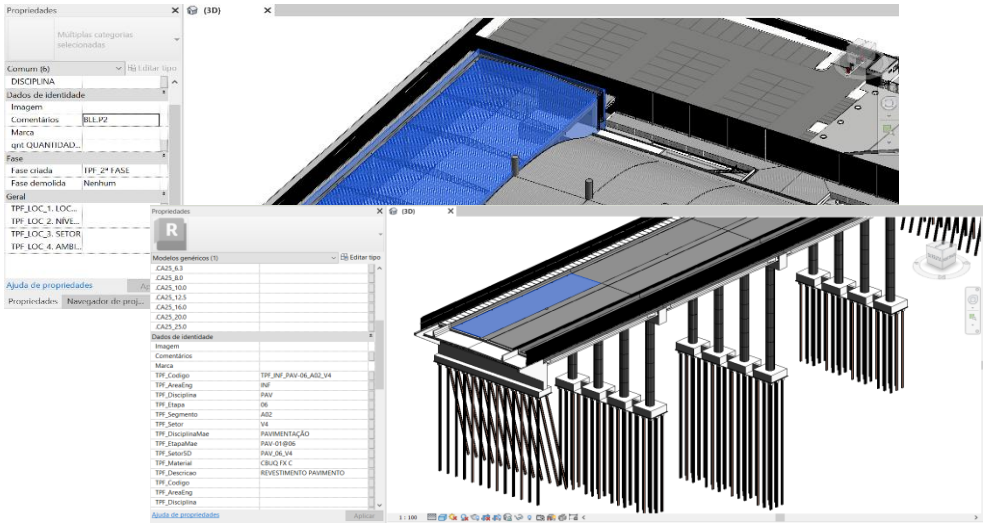
- Planilha Orçamentária: a planilha orçamentária funcionou como uma base de dados banco de dados fundamental. Ela incluiu dados essenciais, como o custo total da obra, custos previstos, custos realizados, e o acompanhamento do progresso financeiro mensal.
- Checklists: através de uma plataforma, foram desenvolvidos todos os checklists a serem utilizados na obra.
- Cronograma de Execução: o cronograma da obra se fez essencial para o planejamento e monitoramento das atividades. Através dele foi possível o acompanhamento de todo o avanço físico.

FERRAMENTAS E TÉCNICAS

Para a execução eficaz do projeto, diversas ferramentas e técnicas foram empregadas, garantindo a integração dos dados ao modelo 3D e a otimização do processo de gestão.

Nesse contexto, a estruturação do modelo 3D foi fundamentada na WBS, que serviu como ponto de partida para a integração de todas as informações essenciais do projeto. Ela foi utilizada para estabelecer uma hierarquia decompondo o projeto em níveis gerenciáveis, facilitando a conexão dos dados físicos, financeiros e qualitativos. Com base em um template, cada elemento da WBS foi vinculado a componentes específicos do modelo 3D, permitindo uma correspondência direta entre a estrutura hierárquica do projeto e sua representação espacial.

Figura 2: Inserção da WBS no Modelo 3D



Fonte: Autor

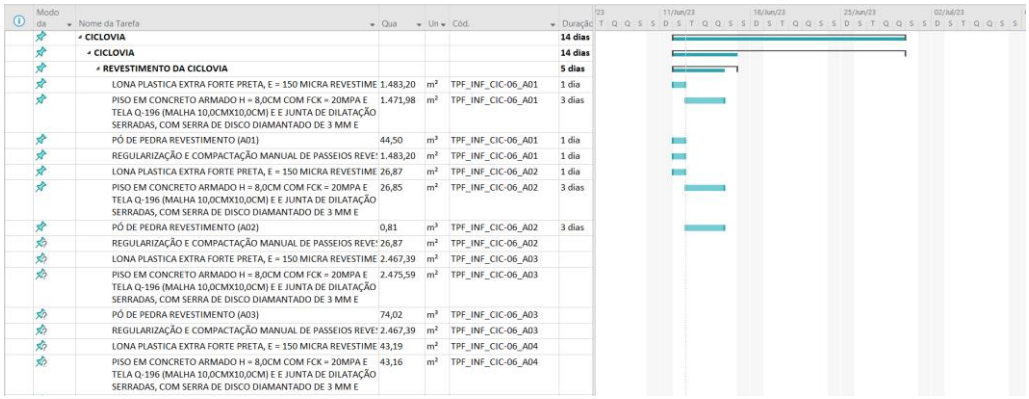
A imagem acima (Figura 2) ilustra a atribuição da WBS no modelo 3D. Nela, os dados de identidade de cada elemento estão vinculados à estrutura da WBS, demonstrando ainda a flexibilidade na adaptação do projeto para diferentes clientes e tipos de empreendimentos.

No que tange os softwares de engenharia, os modelos exibidos foram desenvolvidos utilizando Revit e o Civil 3D. Ainda em complemento, o Navisworks facilitou a integração das disciplinas, proporcionando uma visualização global do projeto. Por fim, os dados foram exportados para o formato IFC (*Industry Foundation Classes*), assegurando a interoperabilidade eficiente entre diferentes plataformas e equipes envolvidas.

Para o gerenciamento do projeto, foram utilizados ferramentas e softwares de gestão específicos que possibilitaram a estruturação do banco de dados para o controle detalhado de prazos, custos e recursos, como:

- Microsoft Project: a ferramenta foi empregada como a principal para a gestão dos cronogramas físicos da obra, sendo utilizado posteriormente para a inserção da WBS desenvolvida (Figura 3).

Figura 3: Cronograma Desenvolvido no MS Project com o Código da WBS na Coluna "Cod."



Modo da	Nome da Tarefa	Qua	Un	Cód.	Duração
	CICLOVIA				14 dias
	CICLOVIA				14 dias
	REVESTIMENTO DA CICLOVIA				5 dias
	LONA PLASTICA EXTRA FORTE PRETA, E = 150 MICRA REVESTIME	1.483,20	m²	TPF_INF_CIC-06_A01	1 dia
	PISO EM CONCRETO ARMADO H = 8,0CM COM FCK = 20MPA E TELA Q-196 (MALHA 10,0CMX10,0CM) E E JUNTA DE DILATAÇÃO SERRADAS, COM SERRA DE DISCO DIAMANTADO DE 3 MM E	1.471,98	m²	TPF_INF_CIC-06_A01	3 dias
	PÓ DE PEDRA REVESTIMENTO (A01)	44,50	m³	TPF_INF_CIC-06_A01	1 dia
	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO MANUAL DE PASSEIOS REVE	1.483,20	m²	TPF_INF_CIC-06_A01	1 dia
	LONA PLASTICA EXTRA FORTE PRETA, E = 150 MICRA REVESTIME	26,87	m²	TPF_INF_CIC-06_A02	1 dia
	PISO EM CONCRETO ARMADO H = 8,0CM COM FCK = 20MPA E TELA Q-196 (MALHA 10,0CMX10,0CM) E E JUNTA DE DILATAÇÃO SERRADAS, COM SERRA DE DISCO DIAMANTADO DE 3 MM E	26,85	m²	TPF_INF_CIC-06_A02	3 dias
	PÓ DE PEDRA REVESTIMENTO (A02)	0,81	m³	TPF_INF_CIC-06_A02	3 dias
	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO MANUAL DE PASSEIOS REVE	26,87	m²	TPF_INF_CIC-06_A02	
	LONA PLASTICA EXTRA FORTE PRETA, E = 150 MICRA REVESTIME	2.467,39	m²	TPF_INF_CIC-06_A03	
	PISO EM CONCRETO ARMADO H = 8,0CM COM FCK = 20MPA E TELA Q-196 (MALHA 10,0CMX10,0CM) E E JUNTA DE DILATAÇÃO SERRADAS, COM SERRA DE DISCO DIAMANTADO DE 3 MM E	2.475,59	m²	TPF_INF_CIC-06_A03	
	PÓ DE PEDRA REVESTIMENTO (A03)	74,02	m³	TPF_INF_CIC-06_A03	
	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO MANUAL DE PASSEIOS REVE	2.467,39	m²	TPF_INF_CIC-06_A03	
	LONA PLASTICA EXTRA FORTE PRETA, E = 150 MICRA REVESTIME	43,19	m²	TPF_INF_CIC-06_A04	
	PISO EM CONCRETO ARMADO H = 8,0CM COM FCK = 20MPA E TELA Q-196 (MALHA 10,0CMX10,0CM) E E JUNTA DE DILATAÇÃO SERRADAS, COM SERRA DE DISCO DIAMANTADO DE 3 MM E	43,16	m²	TPF_INF_CIC-06_A04	

Fonte: Scanoni et. al, 2024

- Plataforma de Checklist: a plataforma de criação dos checklists permitiu o desenvolvimento das fichas de verificação (FVS) separadas por critérios e clientes.
- Plug: ambiente de centralização de todos os dados de obras (Figura 4) que gerou um grande banco de dados para ser integrado ao modelo 3D.

Figura 4 - Tela Inicial do Plug



Fone: Autor

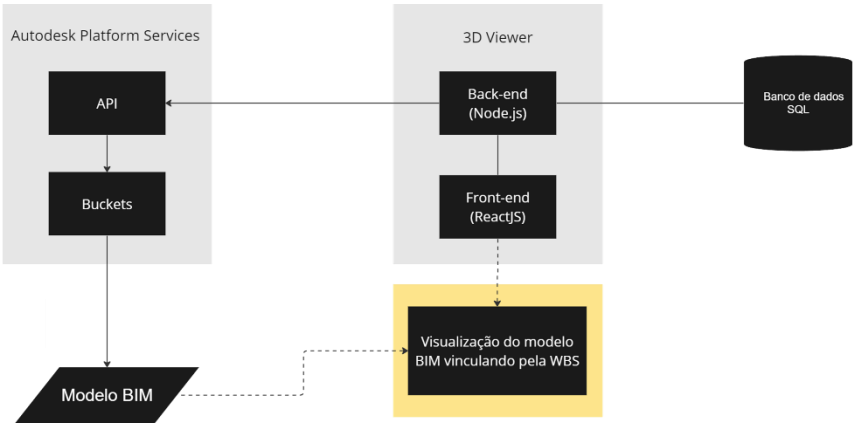
Já em relação ao desenvolvimento propriamente dito da solução, ainda como pontua Scanoni [3], os softwares de programação ficaram divididos em duas vertentes:

(1) Front-end: é a interface com a qual os usuários interagem diretamente. Na construção dela, foi escolhida a biblioteca ReactJS por sua capacidade de proporcionar uma experiência interativa e ágil para os usuários. Além de ser amplamente reconhecida no mercado, o ReactJS possui um ecossistema robusto que simplifica o desenvolvimento. Sua arquitetura baseada em componentes favorece a escalabilidade e a modularidade, facilitando tanto a manutenção quanto o crescimento do projeto. Adicionalmente, bibliotecas complementares como React Query e Axios foram utilizadas para otimizar o desempenho das chamadas de API, implementando mecanismos de cache e aprimorando a experiência do usuário.

(2) Back-end: é responsável pelo processamento de dados e lógica de negócio. O desenvolvimento da API foi feito utilizando Node.js, uma escolha estratégica pela sua eficiência e flexibilidade. O uso de JavaScript tanto no lado do cliente quanto no servidor possibilitou uma integração mais fluida entre as duas plataformas. A natureza assíncrona do Node.js permitiu o tratamento eficaz de múltiplas requisições simultâneas, garantindo a escalabilidade do sistema. A ampla variedade de bibliotecas disponíveis também acelerou o desenvolvimento, facilitando a integração com o banco de dados e com a Autodesk Platform Services (APS), uma plataforma de desenvolvimento em nuvem que possibilitou a visualização integrada do modelo 3D BIM.

A figura abaixo (Figura 5) ilustra o fluxo técnico da aplicação, destacando as interações entre o front-end e o back-end, bem como a integração com os serviços de gerenciamento de dados e a visualização espacial.

Figura 5: Fluxo da Aplicação

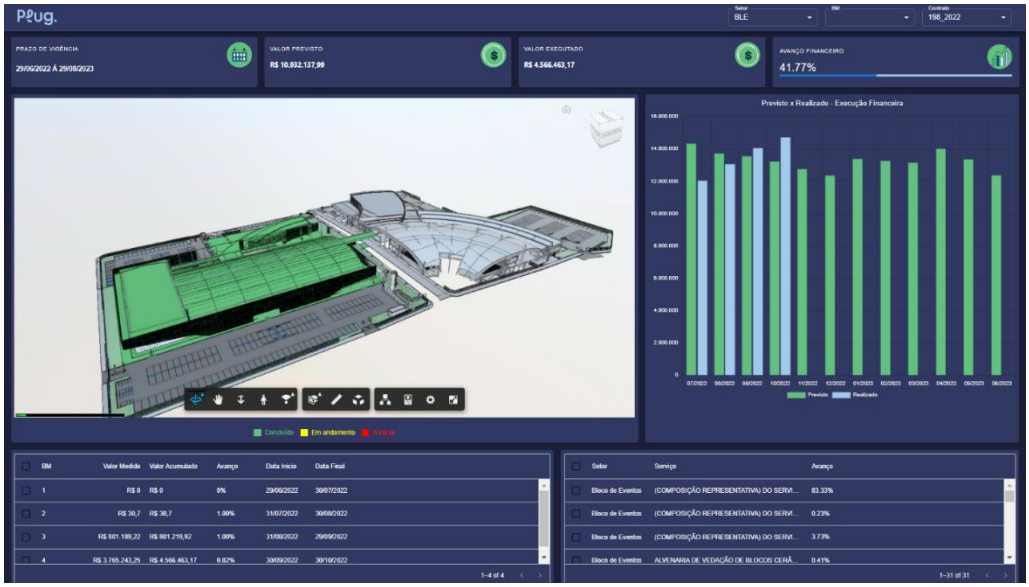


Fonte: Scanoni et. al, 2024 [3]

SAÍDAS

Como principal componente e resultado da solução, foi desenvolvido um ambiente de visualização que combina gráficos dinâmicos e visualização 3D, o 3D Viewer. Esse ambiente permite monitorar e controlar os principais indicadores em contratos gerenciados, integrando informações financeiras, físicas e de qualidade em uma plataforma interativa. A solução é estruturada de maneira modular, dividida em três áreas principais: (1) Gestão Financeira, (2) Gestão do Avanço Físico e (3) Controle de Qualidade.

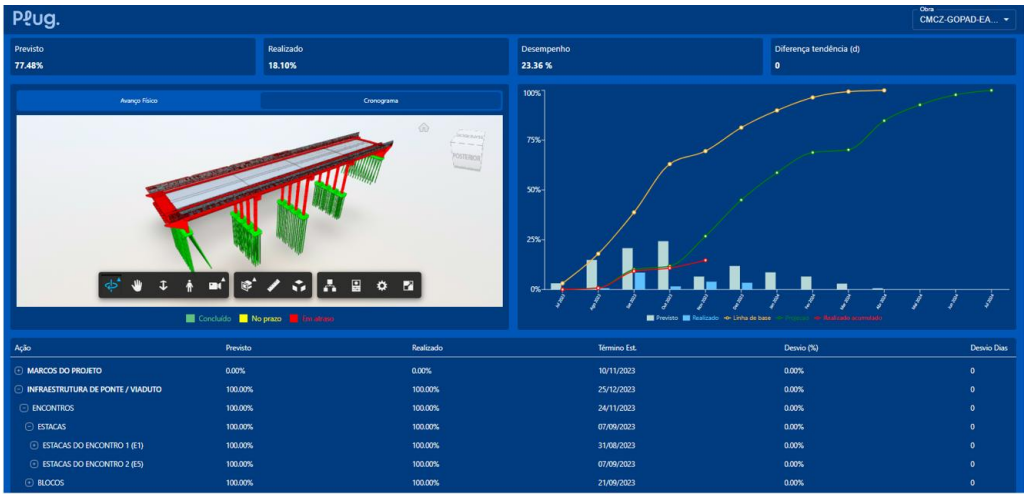
Figura 6: Módulo de Acompanhamento Financeiro do 3D Viewer



Fonte: Autor

(1) Gestão Financeira: a interface (Figura 6) apresenta o modelo de gestão financeira. Em sua parte superior, são exibidos campos com informações contratuais, como prazo de vigência, valor estimado, valor executado e a evolução financeira. O sistema permite a aplicação de filtros por setor e por período de medição. Com base nas informações da planilha orçamentária, o visualizador 3D reflete o status financeiro da obra, atualizando em tempo real. A interface utiliza diferentes cores para representar o status de cada setor, facilitando a identificação de áreas que estão dentro do planejado ou que apresentam desvios. No canto inferior direito da tela, um gráfico exibe a evolução financeira estimada em comparação com a realizada ao longo dos meses. Na parte inferior da interface, duas tabelas complementam a análise, detalhando a evolução financeira: à esquerda, por setor, e à direita, por período de medição.

Figura 7: Módulo da Gestão do Avanço Físico do 3D Viewer

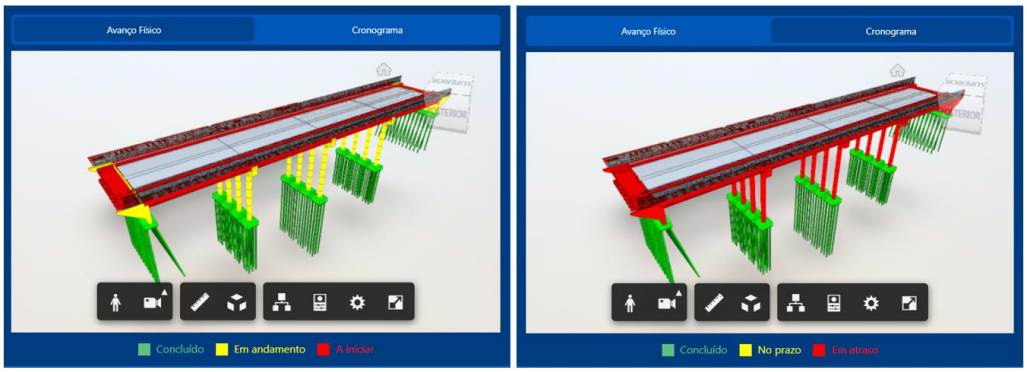


Fonte: Scanoni et. al, 2024 [3]

(2) Gestão do Avanço Físico: A figura acima (Figura 7) apresenta a interface completa do modelo de gestão do avanço físico, que proporciona uma visão integrada do progresso da construção. Esse modelo

permite o acompanhamento detalhado das atividades e dos principais indicadores relacionados ao desenvolvimento da obra. Na barra superior da interface, são exibidos indicadores-chave de desempenho (KPIs) que fornecem uma visão ampla e quantitativa do progresso, incluindo métricas como Planejado, Realizado, Desempenho e Desvio de Tendência, permitindo uma análise clara e precisa do avanço da obra. A curva S, também presente, facilita a comparação das despesas ao longo do ciclo de vida do projeto, destacando os desvios e comparando os valores planejados com os realizados. Esse gráfico oferece uma representação visual das linhas de base, projeções e do progresso acumulado. Na parte inferior da tela, uma tabela hierárquica organiza as atividades, detalhando a relação entre o planejado e o realizado, com previsão de conclusão e desvio de prazo em dias para cada tarefa. Essa estruturação promove uma gestão eficaz do cronograma e maior controle sobre o andamento físico da obra.

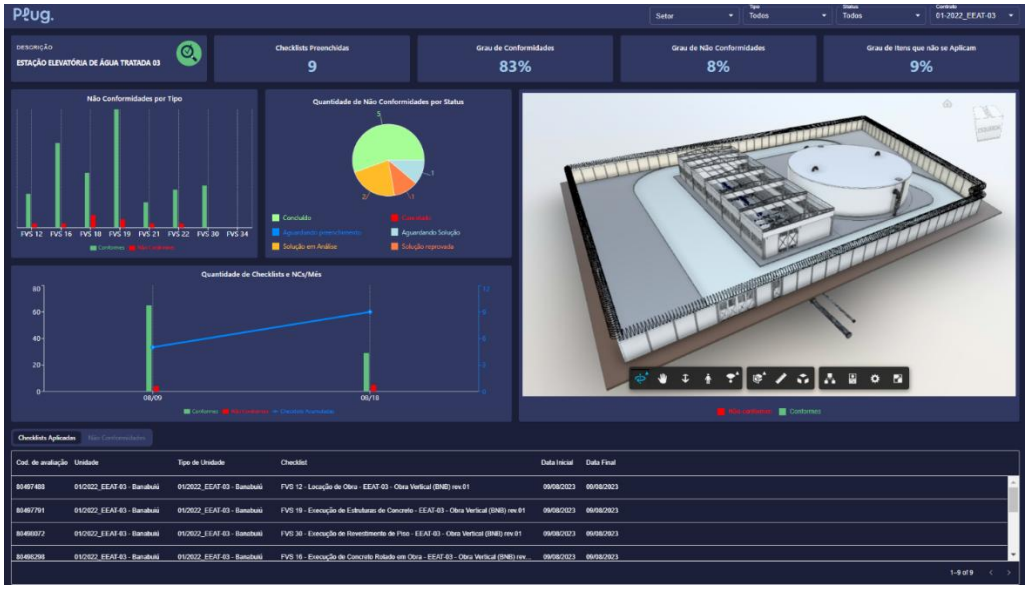
Figura 8: Modelos Espaciais de Gerenciamento do Avanço Físico



Fonte: Scanoni et. al, 2024 [3]

O visualizador 3D fornece duas formas de acompanhamento espacial (Figura 8): (1) o monitoramento do progresso físico das atividades planejadas e (2) o acompanhamento do cronograma, comparando o progresso da construção com os prazos estabelecidos. As visualizações utilizam cores para indicar o status de cada setor em relação ao seu avanço, e os dados são integrados ao MS Project, permitindo atualizações em tempo real.

Figura 9: Módulo da Controle da Qualidade do 3D Viewer



Fonte: Autor

(3) Controle de Qualidade: No módulo de controle de qualidade (Figura 9), foi implementada a integração com as fichas de verificação, permitindo um acompanhamento detalhado das Não Conformidades (NCs). O primeiro gráfico, localizado no canto superior esquerdo, apresenta as NCs classificadas por tipo, cada uma correspondente a uma fase específica da obra, como preparação, fundação, estrutura, revestimento etc. Logo abaixo, há um gráfico de linha azul mostrando a Quantidade de Checklists e NCs/Mês. O gráfico mostra a evolução temporal do número de checklists aplicados e NCs identificados ao longo dos meses. O gráfico permite comparar o desempenho da construção em termos de qualidade e conformidade. Adicionalmente, um gráfico circular, segmentado por cores, representa a distribuição percentual das NCs por status, evidenciando a proporção de cada situação em relação ao número total de checklists aplicados. Na parte superior da tela, encontram-se indicadores percentuais que apresentam o Grau de Conformidade, a quantidade de Checklists Preenchidos, o Grau de Não Conformidade e a porcentagem de itens não aplicáveis. No lado direito da interface, há uma visualização 3D do modelo de construção, que utiliza cores distintas para destacar os setores em conformidade ou não conformidade, proporcionando uma visão clara e imediata do status de cada área do projeto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O 3D Viewer é uma ferramenta poderosa para a gestão integrada de projetos, proporcionando uma visualização clara e atualizada do progresso da obra. Sua capacidade de integrar o modelo 3D com bancos de dados facilita a transparência e a tomada de decisões rápidas, antecipando problemas e identificando oportunidades de melhoria em tempo real. Com uma evolução contínua, o sistema pretende incorporar novas funcionalidades das plataformas Autodesk e outras tecnologias, como soluções da Microsoft, visando maior flexibilidade e adaptabilidade para atender às demandas crescentes dos projetos.

REFERÊNCIAS

[1] MCKINSEY&CO, “Reinventing Construction: a route to higher productivity”, **McKinsey Global Institute**, 2017.

[2] SIGALOV, K.; KÖNIG, M. “Recognition of process patterns for BIM-based construction schedules”. **Advanced Engineering Informatics**, 2017.

[3] SCANONI, JULIANA; IVAN, CARLOS; MORAES, MARIANA; BARROS, FELIPE; RIBEIRO, ANNA JULIA; ALENCAR, EDMAR. Gerenciamento integrado em BIM: vinculando avanços físico-financeiros ao modelo 3D. Em: **Congresso português de *Building Information Modelling***, 5., 2024, Braga. Anais [...]. Braga: UMinho Editora, 2024. Volume 1. Disponível em: https://ebooks.uminho.pt/index.php/uminho/catalog/view/142/202/3274. Acesso em: 28 out. 2024.

[4] Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK). 7 ed. Estados Unidos: PMI, **Project Management Institute (PMI)**, 2021.

ProBooks

Projeto da publicação desenvolvido por ProBooks Editora, São Paulo, SP, Brasil.

Capa desenvolvida em Inkscape.

Miolo desenvolvido em Microsoft Word, com fontes das famílias Calibri e Open Sans.

Distribuição gratuita em lojas de aplicativos e bibliotecas digitais, sob licença do SINAENCO, realizada pela ProBooks via BookWire.

Publicação gratuita e individualizada dos artigos, sob licença do SINEANCO, pela ProBooks via serviço ZENODO.

©2024 Sinaenco – todos os direitos reservados.