



# **5º Congresso Português de Building Information Modelling**

## vol.1

António Aguiar Costa, Miguel Azenha (editores)

Coleção Atas



UMinho Editora





UMinho Editora  
Atas

#### EDITORES

António Aguiar Costa  
Miguel Azenha

#### COMISSÃO EDITORIAL

João Palma  
Maria Teresa Ferreira  
Pedro Pedroso  
Rodrigo Pedral Sampaio

#### IMAGEM CAPA

Entre\_Humos/ Pixabay

#### DESIGN

Tiago Rodrigues

#### PAGINAÇÃO

Carlos Sousa | Talento & Tradição, Lda.

#### EDIÇÃO UMinho Editora

LOCAL DE EDIÇÃO Braga 2024

ISBN digital 978-989-9074-36-1

DOI <https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142>

Os conteúdos apresentados (textos e imagens) são da exclusiva responsabilidade dos respetivos autores.  
Autores / Universidade do Minho – Esta obra encontra-se sob a Licença Internacional Creative Commons  
Atribuição 4.0.

# 5º Congresso Português de *Building Information Modelling*

Volume 1



Universidade do Minho

pt **BIM**



### **Comissão organizadora Local**

António Aguiar Costa – ULisboa (IST)  
Francisco Teixeira Bastos – ULisboa (IST)  
Amílcar Arantes (IST)  
Diogo Pascoal – ULisboa (IST)  
Maria Teresa Ferreira – ULisboa (IST)  
Pedro Pedroso – ULisboa (IST)  
Rodrigo Sampaio – ULisboa (IST)

### **Comissão organizadora Nacional**

António Aguiar Costa – ULisboa (IST)  
Miguel Azenha – UMinho (EEUM)  
João Poças Martins – UPorto (FEUP)

### **Comissão Internacional**

Eduardo Toledo Santos – Universidade de São Paulo (Brazil)  
Eduardo Nardelli – Universidade Presbiteriana Mackenzie (Brazil)  
Sergio Scheer – Universidade Federal do Paraná – UFPR (Brazil)  
Vity Nsalambi – Ordem dos Arquitetos (Angola)  
Mandavela Satshishinga – Ordem dos Engenheiros de Angola (Angola)  
José Paulo Kai – Univ. Agostinho Neto (Angola)  
Vera Cibele Neves Marques – Univ. Técnica do Atlântico (Cabo Verde)  
Américo Dimande – Administração Nacional de Estradas (Moçambique)

### **Comissão Científica**

Presidente da Comissão Científica: Miguel Azenha – Univ. Minho (EEUM)

Alexandra Calheiros – Hilti  
Alexandre Marques – Hilti  
Alfredo Soeiro – Univ. Porto (FEUP)  
António Aguiar Costa – Univ. Lisboa (IST)  
António Cabaço – LNEC  
António Menezes Leitão – Univ. Lisboa (IST)  
Bárbara Rangel – Univ. Porto (FEUP)  
Bruno Figueiredo – Univ. Minho (EAUM)  
Bruno Matos – Engexpor  
Carlos Dias – CD openbim  
Diogo Ribeiro – ISEP  
Fábio Dinis – BUILT CoLAB

Fernando Pinho – Univ. Nova Lisboa  
Francisco Teixeira Bastos – Univ. Lisboa (IST)  
Hélder Sousa – Univ. Minho (EEUM)  
Hipólito Sousa – Univ. Porto (FEUP)  
Hugo Rodrigues – Univ. Aveiro  
Inês Caetano – BUILT CoLAB  
Inês Flores-Colen – Univ. Lisboa (IST)  
Isabel Valente – Univ. Minho (EEUM)  
João Pedro Couto – Univ. Minho (EEUM)  
João Poças Martins – BUILT CoLAB/Univ. Porto (FEUP)  
José António Ribeiro – Mota Engil  
José Carlos Lino – Univ. Minho (EEUM)  
José Dinis Silvestre – Univ. Lisboa (IST)  
José Granja – Univ. Minho (EEUM)  
José Miguel Castro – Univ. Porto (FEUP)  
José Pedro Sousa – Univ. Porto (FAUP)  
José Pinto-Faria – ISEP  
José Santos – Univ. Madeira (UMa)  
Luís Pedro Bidarra – Norvia  
Luís Ribeirinho – TPF  
Luís Sanhudo – BUILT CoLAB  
Luís Santos – Leica Geosystems  
Luisa Gonçalves – Instituto Politécnico de Leiria  
Manuel Parente – Univ. Minho (EEUM)  
Manuel Tender – ISEP/ISLA  
Marcelo Giacaglia – Univ. São Paulo (FAUSP)  
Maria João Falcão – LNEC  
Marta Campos – MC  
Miguel Ferraz – Univ. Porto (FEUP)  
Miguel Pires – Casais  
Nuno Ramos – Univ. Porto (FEUP)  
Patrícia Escórcio – Univ. Madeira (UMa)  
Paula Couto – LNEC  
Paulo Costeira – Politecnico de Viseu  
Pedro Ferreirinha – HCI  
Pedro Mêda – Inst. Construção(IC)  
Ricardo Almeida – Politécnico de Viseu (IPV)  
Ricardo Codinhoto – University of Bath (UB)  
Ricardo Costa – Univ. Coimbra (FCTUC)  
Ricardo Pereira Santos – ISEP  
Ricardo Resende – ISCTE-IUL  
Rodrigo Falcão Moreira – GROUND MOTION  
Rodrigo Lameiras – Univ. Brasília  
Ruben Santos – VK Architects & Engineers  
Sebastien Roux – LIMSEN  
Trayana Tankova – Univ. Delft (TUDelft)  
Vitor Cardoso – BUILT CoLAB

## Patrocinadores

### Platina



infor  
soluções BIM



### Ouro



### Prata



### Patrocinador Institucional



ORDEM DOS  
ENGENHEIROS  
TÉCNICOS



A edição do congresso de 2024 surge no momento histórico em que o BIM é referido, pela primeira vez, na legislação nacional. Surge inicialmente na Portaria 255/2023 de 7 de agosto de 2023, documento que substituiu a Portaria 701H/2008, e que publica o conteúdo obrigatório do projeto de execução, bem como os procedimentos e normas a adotar na elaboração e faseamento de projetos de obras públicas. Nesta Portaria, o BIM é assumido como uma metodologia de partilha de informação tendencialmente obrigatória, que pode já ser usada para o desenvolvimento do projeto e obra. Por exemplo, as telas finais são já referidas neste documento como *o conjunto de desenhos finais do projeto, em suporte físico ou eletrónico, podendo ser também entregue em modelo de informação da construção (BIM), integrando as retificações e alterações introduzidas no decurso da obra e que traduzem o que foi efetivamente construído.*

Esta Portaria foi o primeiro de vários documentos que impulsionaram um movimento de transição digital do setor. Poucos dias depois, a 28 de agosto, surge a Lei n.º 50/2023, que autoriza o Governo a proceder à reforma e simplificação dos licenciamentos no âmbito do urbanismo e ordenamento do território. A digitalização surge neste contexto como pivot da simplificação. Entre as várias considerações apresentadas surge a pretensão de *determinar a obrigatoriedade de se apresentar o projeto de arquitetura e os projetos de especialidades modelados digital e parametricamente e coordenados de acordo com a metodologia Building Information Modelling (BIM), podendo ser estabelecido um projeto-piloto apenas para alguns municípios ou projetos.*

A obrigatoriedade perspetivada pela Lei n.º 50/2023 foi então definitivamente assumida pelo Decreto-Lei n.º 10/2024 de 8 de janeiro que procede à reforma e simplificação dos licenciamentos no âmbito do urbanismo, ordenamento do território e indústria. Aqui, a transição digital e o BIM são apresentados de forma muito mais assertiva, afirmando-se como *obrigatória, a partir de 1 de janeiro de 2030, a apresentação dos projetos de arquitetura, previstos no RJUE, modelados digital e parametricamente de acordo com a metodologia Building Information Modelling (BIM). Assume-se ainda que a partir desta data, a validação do cumprimento do disposto em planos intermunicipais ou municipais pelas câmaras municipais é efetuada de forma automática de acordo com os parâmetros definidos para o efeito.* Este é, assim, um duplo desafio: por um lado a implementação obrigatória do BIM na indústria nacional, por outro o desenvolvimento e a implementação de uma plataforma de validação automática do BIM.

Por sabermos que nos espera um grande desafio, esta é uma edição que nos deixa especialmente entusiasmados. A visão do futuro confirma o caminho que tem vindo a ser traçado e para o qual contribui a comunidade criada em torno deste evento. Urge

consolidar o corpo de conhecimento e alargar as bases de sustentação desta mudança. Nesta edição de 2024, além de reforçar laços já estabelecidos, é importante abrir novas portas para a discussão e a exploração do potencial do BIM, alinhadas com as necessidades e os desafios impostos pela nova legislação.

Agradecemos sinceramente a todos os participantes, autores, membros da comissão organizadora e científica, e patrocinadores, cujo empenho e dedicação são fundamentais para o sucesso deste evento. O ptBIM 2024 não é apenas um testemunho do progresso contínuo na área do BIM, mas também um fórum vital para a reflexão, aprendizagem e partilha de conhecimentos, contribuindo significativamente para a evolução e a adoção do BIM em contextos nacionais e internacionais.

Os Editores

António Aguiar Costa

Miguel Azenha

Prefácio	9
Índice	11
<b>Parte I – Projeto em Arquitetura e Engenharia</b>	<b>17</b>
A sinergia entre arquitetura e engenharia: Uma cooperação assente nos três pilares do BIM <i>Ricardo Simões, Afonso Pessanha, Vera Borges, Pedro Vieira, Aline Silva, Bárbara Cunha, Nuno Coelho</i>	19
Compatibilização de projetos em BIM: Análise do projeto padrão FNDE Creche Pré-Escola Tipo 1 <i>Vagner Wojcickoski, Helena Engelhardt, Talita Dal’Bosco</i>	31
A importância de um template em projeto BIM <i>Gonçalo Valente</i>	45
Metodologia BIM – Implementação e desenvolvimento na Openbook <i>Mónica Santos, Madalena Mariz, Sébastien Roux, Joana França, Frederico Pinto Leite</i>	55
Enriquecimento semântico em HBIM: Estudo de caso na Igreja da Ordem Primeira do Carmo em Cachoeira <i>Bruna Costa, João Marcelo Adães, Natalie Groetelaars</i>	65
Uso da metodologia BIM em projetos geotécnicos. Caso de estudo: Construção de reservatórios enterrados <i>André Henriques, Nuno Silva, Miriam Lopes</i>	77
Implementação e aplicação prática das metodologias digitais de trabalho nas áreas da geologia e geotecnia <i>Alice Modesto, Pedro Serra, Rui Freitas</i>	89
Avaliação da capacidade de carga de pavimentos aeroportuários – Modelação e digitalização em BIM <i>João Pedro Lima, Simona Fontul, Paula Couto, Rodrigo Lima</i>	99
Modelo dinâmico para projetos básicos de estações elevatórias de esgoto <i>Arthur Silva, Leandro Dias, Sergio Nagima, Sergio Pontes</i>	111
Desenvolvimento de projetos BIM para operação remota de uma estação de tratamento de óleo mineral <i>Matheus Castelo, Bernardo Beltrão</i>	123

Rumo a adoção de métodos avançados para a análise estrutural de agregados de alvenaria: Uma abordagem baseada em openBIM <i>Maria Laura Leonardi, José Granja, Daniel V. Oliveira, Miguel Azenha</i>	135
BIM no controlo de segurança de barragens de betão: Uma ferramenta de apoio às inspeções visuais <i>Carlos Serra, João Conde Silva, José Granja, Miguel Azenha</i>	147
O uso do BIM em obras compostas por sistemas estruturais de betão pré-fabricado <i>Daniela Gutstein, Larissa Queiroz Henz, Luis André Tomazoni, Paulo Costeira Silva</i>	161
Expandindo usos BIM para caracterização do estado de fadiga em pontes metálicas ferroviárias <i>Idilson Nhamage, Cláudio Horas, Ngoc-Son Dang, José Campos e Matos, João Poças Martins, Rui Calçada</i>	173
Implementação da metodologia BIM no projeto de obras de arte <i>Paulo Soares, Pedro Serra, Eva Jerónimo, Cristina Costa, Gonçalo Mateus</i>	185
<b>Parte II – Gestão da informação e Sistemas de apoio ao projeto</b>	197
BIM e Inteligência Artificial: Uma análise bibliométrica na indústria da construção <i>Lorena Moreira, Paula Mota, Fernanda Machado</i>	199
Cálculo das necessidades de ventilação em Revit através de <i>scripts</i> em Dynamo <i>José Cruz, Hugo Silva, Luís Ribeirinho, Sofia Henriques</i>	213
Eficiência e precisão: Ferramentas de automação <i>Tiago Campelo, Joel Ribeiro, Fernando Miranda</i>	223
Verificação de acessibilidade em escadas com BIM <i>Jessica Aida, Aline Hilgemberg, Adriano Franchini, Erica Checcucci</i>	237
Integração de algoritmos de otimização de corte em ambientes de modelação BIM <i>Vitor Cardoso, Nycolas Glerean, Margarida Amândio, Luís Sanhudo, João Poças Martins, Samuel Delgado, Marco Aniceto</i>	249
A IA e o BIM: “Magia” ou algoritmos? <i>Luís Jacques de Sousa, Alfredo Soeiro, João Poças Martins</i>	263

Avaliando o potencial da integração da Inteligência Artificial ao Building Information Modelling (BIM) na Indústria 4.0 <i>Paulo Santos, Isabela Ferreira, Breno Cortez, Gabriela Nascimento, Michele Tereza Marques Carvalho</i>	275
BIM em infraestruturas ferroviárias: Modelação automática de túneis para monitorização e manutenção ao longo do ciclo de vida <i>Inês Caetano, Débora Pinto, Yessica Barbosa, João Silva, Margarida Amândio, Hugo Patrício, Miguel Azenha, Luís Sanhudo, João Poças Martins</i>	287
Generative design of modular/industrial architectural system <i>Wilson Zárate, Bruno de Figueiredo, Filipe Brandão, Miguel Pires, Pedro Carneiro</i>	299
Desenvolvimento de ferramentas de suporte ao processo BIM <i>Luís Pedro Bidarra, Ana Clemente</i>	311
Análise de dados: Power BI na metodologia BIM <i>Pedro Ferreirinha</i>	325
Dashboards para democratização dos dados dos Building Information Models <i>José Mota, Miguel Pires, Pedro Carneiro</i>	337
Integração de dados na construção: Desafios e soluções <i>Tiago Costa, Pedro Ferreirinha, Ricardo Resende</i>	349
CDE – Controlo de qualidade e gestão de documentação com Power BI e Python <i>Hugo Silva, Luís Ribeirinho, Sofia Henriques</i>	361
Conceptualização de um ambiente comum de dados (CDE) orientado para pequenas e médias empresas <i>João Aleixo, João Pedro Couto, João Daniel Pereira, João Marcelo Silva, Miguel Azenha</i>	371
Uma data warehouse para o BIM – Tecnologia da informação aplicada a projetos de varejo <i>Déborah Paiva, Jorge Almeida Junior, Sérgio Ferreira</i>	385
<b>Parte III – Levantamento e Gestão do ambiente construído</b>	395
Maior mapa digital 3D dos sistemas de água e águas residuárias do Brasil <i>Wagner Carvalho, Joabe Araujo, Rui Marques, Nuno Almeida, António Aguiar Costa</i>	397
Digital Twin e a necessidade de uma framework integradora para a gestão do ambiente construído <i>Rodrigo Pedral Sampaio, António Aguiar Costa, Inês Flores-Colen</i>	409

O nível de maturidade digital BIM no setor de <i>Facility Management</i> em Portugal <i>Rodrigo Pedral Sampaio, Francisco Vasconcelos, António Aguiar Costa, Inês Flores-Colen</i>	421
Integração da fase de manutenção em modelos BIM <i>Ana Thereza Carvalho, Rui Calejo, José Santos</i>	433
Desenvolvimento de ferramenta de realidade virtual para navegação 3D e edição básica de modelos BIM em formato IFC <i>Paulo Teles, José Santos, Sergi Bermúdez i Badia</i>	445
A interoperabilidade entre BIM e SIG: A importância do “I” na conversão de informação <i>Tiago Fino Martins, Carla Rebelo</i>	457
A fotogrametria aérea como base da criação de modelos BIM e Digital Twins: Revisão da literatura <i>Diogo F. R. Parracho, João Poças Martins, João M. P. Q. Delgado, João Santos Baptista</i>	469
Scan to BIM: Arquitetura e instalações MEP <i>Inês Rodrigues, Inês Miranda</i>	483
Utilização de drones na gestão de instalações de armazenamento de água e de resíduos industriais <i>Pedro Ferreira, Luis Ribeirinho, Gonçalo Tavares</i>	495
Desenvolvimentos BIM no plano geral de drenagem de Lisboa: Modelação, planeamento físico e integração com o SIG <i>Tiago Andrade Gomes, Gonçalo Diniz Vieira, Luís Ribeirinho, Ricardo Pontes Resende, António Hipólito, Catarina Feio, Sebastien Roux, Paulo Gordinho</i>	507
<b>Parte IV – Gestão de empreendimentos e da Construção</b>	519
Gestão integrada: GeoBIM no gerenciamento de grandes obras <i>Sanderllan Costa, Juliana Scanoni</i>	521
Estudo de caso da aplicação do planeamento 4D em uma residência unifamiliar alto padrão <i>Bárbara Norões, Tiago Bastos</i>	529
A aplicabilidade da gestão ágil e do BIM em projetos de descaracterização de barragens de rejeito <i>Thiago Almeida, João Andrade, Pedro Lima, Eduardo Mello</i>	541

Gerenciamento e planejamento de projetos de infraestrutura rodoviária em BIM com o foco na gestão de produção e integração de ativos <i>José Vinícius Silva Martins, Paulo Santos, Matheus Barros</i>	551
Gerenciamento integrado em BIM: Vinculando avanços físico-financeiros ao modelo 3D <i>Juliana Scanoni, Carlos Ivan, Mariana Moraes, Felipe Barros, Anna Julia Ribeiro, Edmar Alencar</i>	563
Diretrizes para orçamentação em BIM colaborativo – Aplicação em estudo de caso <i>Marcelo Nogueira, Roberta Oliveira, Lissa Araújo, Juliana Gehlen, Michele Tereza Marques Carvalho</i>	573
Caracterização de metodologias para extração de quantitativos com foco no orçamento de projetos em BIM <i>Glauber Moreira, Michele Carvalho</i>	585
Processos sistemáticos de extração e de consolidação da informação de elementos em modelos BIM para parametrização de artigos ProNIC <i>Jorge Teixeira, Yanh Ribeiro, Luís Guardão, Pedro Mêda, Joaquim Moreira, Rui Sousa, Hipólito Sousa</i>	597
Automatismos e estimativa orçamental em BIM <i>A. Teresa Afonso, Vasco Leónidas Leal</i>	609



# **Parte I – Projeto em Arquitetura e Engenharia**



# A sinergia entre Arquitetura e Engenharia: Uma cooperação assente nos três pilares do BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.1>

Ricardo Simões<sup>1</sup>, Afonso Pessanha<sup>1</sup>, Vera Borges<sup>1</sup>,  
Pedro Vieira<sup>1</sup>, Aline Silva<sup>1</sup>, Bárbara Cunha<sup>1</sup>, Nuno Coelho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Walnut, Lisboa, Portugal*

## Resumo

Na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) a digitalização tem sido essencial para impulsionar a eficiência e a qualidade dos projetos. A combinação entre o *Building Information Modeling* (BIM) e o *Virtual Design and Construction* (VDC), assim como a aposta em tecnologias inovadoras – como a automação de processos, a inteligência artificial, a integração da fotogrametria, *laser scanning*, impressão 3D, das realidades virtual e aumentada e na monitorização de obra com recurso a drones - têm revolucionado a forma de projetar e construir.

Nesse sentido, a implementação destas metodologias permite projetar de uma forma mais coesa e com uma intencionalidade que vai além do tradicional, promovendo uma obra mais eficiente e limpa. Desta forma, a possibilidade de visualizar o projeto em várias fases permite antecipar e resolver problemas com maior rapidez e assertividade, o que contribui para um projeto coordenado e compatibilizado, o que resulta, por consequência, numa obra melhor resolvida. Paralelamente, os intervenientes têm a oportunidade de acompanhar imersivamente todo o processo em tempo real, tornando a experiência mais envolvente, resultando numa base sólida que possibilita uma tomada de decisões informada e consciente.

Neste artigo abordamos como a sinergia entre arquitetura e engenharia é fundamental para o sucesso de qualquer projeto e como o BIM, em complemento com o VDC, enquanto metodologias colaborativas e integradas na conceção de projeto, são a chave para impulsionar a indústria da AEC em direção a um futuro de projetos exemplares.

## 1. Duas metodologias digitais que se complementam: o BIM e o VDC

A gestão eficaz de projetos de construção é fundamental para garantir o sucesso dos mesmos, de forma a alcançar os objetivos de qualidade, minimizando custos e prazos. Nos últimos anos, duas metodologias têm desempenhado um papel crucial nesse sentido: o *Building Information Modeling* e o *Virtual Design and Construction*.

O BIM é uma metodologia composta por um conjunto de tecnologias, processos e normas que permitem a múltiplas partes interessadas projetar, construir e operar uma instalação de forma colaborativa. Acima de tudo é uma forma de compreender o objeto de estudo na sua totalidade e não somente através de representações gráficas do mesmo. Esta metodologia tem como base a modelação digital de um empreendimento com o objetivo de facilitar os processos de projeto, construção e operação para formar uma base credível e fundamentada para as tomadas de decisões [1].

A evolução do BIM tem acontecido ao longo de várias décadas e, dessa forma, revolucionado a maneira como os projetos são concebidos, executados e geridos. Atualmente, além dos vários softwares disponíveis no mercado, é igualmente possível a utilização de plataformas de colaboração em nuvem, que permitem a criação e partilha de modelos em tempo real.

As aplicações desta metodologia são vastas e abrangem todas as fases do ciclo de vida de um empreendimento. Em estudos preliminares, esta metodologia ajuda a otimizar o layout do edifício, permitindo, por exemplo, através de várias iterações, melhorar a sua eficiência energética. Na fase de conceção, os modelos BIM facilitam a deteção de conflitos entre elementos, reduzindo erros e omissões, garantindo um projeto coordenado. Durante a construção, permitem um planeamento detalhado, monitorização em tempo real e análise de custos, e após a conclusão, suportam a operação ao fornecer informações atualizadas sobre componentes e sistemas, facilitando a gestão de ativos.

O VDC é outra metodologia que também tem revolucionado a indústria da AEC, combinando a potência da tecnologia digital com o conhecimento prático da construção.

No seu cerne, está a filosofia *Lean* associada a modelos virtuais que representam fielmente um projeto de construção.

Esta filosofia, que se desdobra em duas grandes fases no nosso setor – projeto (*Lean Design*) e construção (*Lean Construction*), visa promover o trabalho colaborativo e a partilha de informação como metodologias de trabalho que aumentam a produtividade e fomentam a inovação na indústria.

Desta forma, o VDC, atuando ao nível da quarta, quinta e nona dimensões do BIM, vai muito além da criação de modelos cujo principal foco é possibilitar a realização de várias simulações e análises de processos de construção [2]. Esta metodologia torna

possível a definição de um planeamento otimizado da construção de um empreendimento, e, conseqüentemente, garante a sua construtibilidade.

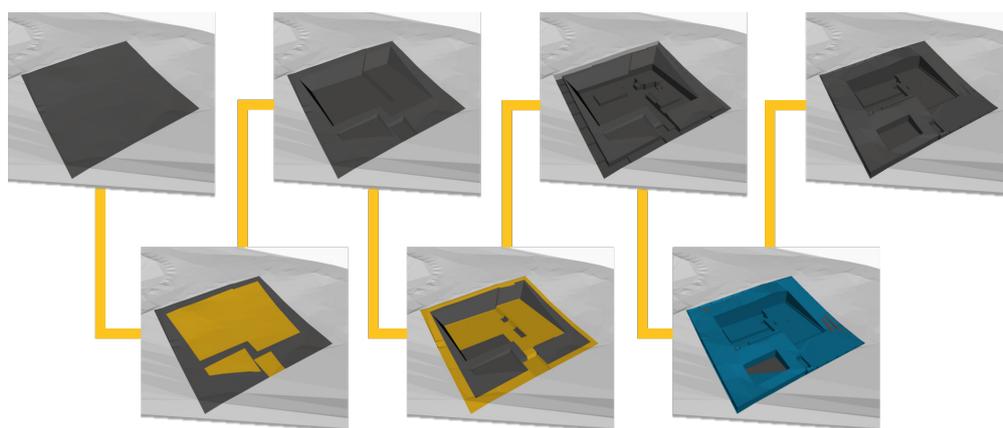
Este tipo de análises, na sua grande maioria, implica a criação de animações que ajudam a enquadrar no espaço e no tempo as diferentes atividades associadas à execução de empreitadas. Desta forma não só é possível identificar e corrigir eventuais constrangimentos em relação a tarefas que apresentem interferências entre si, como otimizar os diferentes processos durante uma empreitada.

A complementaridade entre estas duas metodologias é clara, uma vez que os modelos BIM fornecem a base para as simulações e análises do VDC, o que permite que os profissionais da construção visualizem, analisem e otimizem cada aspeto do projeto. Exemplificando um caso prático, o planeamento da construção pode combinar informações de um modelo virtual com o plano de tarefas para criar um cronograma que ajuda na coordenação e estruturação das atividades de construção.

No entanto, nem sempre é possível analisar aspetos construtivos nos modelos BIM, sendo essa a grande vantagem da integração do VDC, possibilitando a análise de situações específicas de obra como o estudo da movimentação de terras, a organização de materiais ou equipamentos no estaleiro, entre outros.

A Walnut, focada na conceção de projeto e execução de obras, teve desde a sua génese uma premissa essencial como forma de trabalho alinhada com o BIM. Mais recentemente, a aposta no VDC tornou possível realizar simulações e planeamentos de obra minuciosos, utilizando os modelos virtuais.

Atualmente, estas metodologias são imprescindíveis, uma vez que representam a base de todo o processo interno, desde a conceção de projetos, à sua execução, sendo ainda possível a utilização de sistemas centralizados de gestão com vista à fase de operação de ativos.



**Figura 1**  
Representação das diferentes fases de movimentação de terras (escavação a amarelo e aterro a azul).

## 2. Da conceção à obra: A aposta na digitalização

Apesar de ser das indústrias que menos tem evoluído tecnologicamente, verifica-se que o setor da AEC tem contrariado essa tendência nos últimos anos. Para isso têm contribuído os grandes avanços tecnológicos, assim como o facto de a digitalização apresentar-se como a chave para enfrentar os desafios mais relevantes que o setor encara, entre eles a escassez de mão de obra especializada, a forte competitividade, a otimização de recursos e energia, ou a melhoria da eficiência e da produtividade.

Existem três áreas onde essa aposta tem sido clara: aquisição de dados, processos digitais e automação de processos [3]. No âmbito destas três áreas, de seguida, são apresentadas as apostas tecnológicas mais relevantes que têm sido exploradas e implementadas na Wallnut, desde as fases preliminares da conceção de um projeto até à sua execução em obra.

### 2.1. Levantamento das condições existentes e do ambiente construído

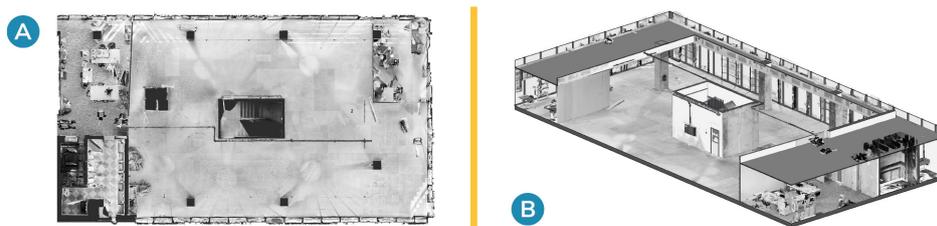
Quer se trate de uma construção nova, ou de outro tipo de operação urbanística que envolva uma construção existente, todos os projetos passam por uma fase de levantamento das condições existentes.

Na aquisição de dados de um espaço exterior, a utilização de drones equipados com câmaras avançadas e software *DroneDeploy* viabiliza a captura de dados aéreos e a geração de nuvens de pontos e modelos 3D de vastas áreas geográficas, agilizando inspeções e levantamentos.

Por outro lado, quando se pretende o registo meticuloso de espaços interiores, o recurso à *Matterport* permite realizar esse levantamento num curto espaço de tempo, fornecendo uma base de trabalho rigorosa. A possibilidade de realizar visitas virtuais imersivas, sem necessidade de novas visitas ao local, com garantia do registo dos espaços na sua totalidade, permite verificações e correções instantâneas.

O *Gaussian Splatting* é outra tecnologia utilizada no âmbito da aquisição de dados. Esta cria visualizações tridimensionais através de distribuições gaussianas geradas com base em nuvens de pontos, vídeos ou simples imagens. Esta abordagem inovadora é essencial para produzir visualizações altamente precisas e envolventes em aplicações como modelação de terrenos e desenvolvimento de ambientes virtuais, preservando detalhes cruciais e fornecendo representações realistas.

Estas tecnologias formam um conjunto poderoso, que tem melhorado a eficiência, a precisão e a acessibilidade na digitalização e visualização de ambientes físicos.



**Figura 2**  
Aquisição de dados através da *Matterport* (A. nuvem de pontos resultante do levantamento; B. criação dos modelos em *Revit*, com base nas condições existentes).

## 2.2. Conceção de projetos

A procura de uma estratégia que permitisse melhorar processos, reduzir tarefas redundantes e que, simultaneamente, potencializasse a colaboração entre projetistas, levou à adoção dos princípios *Lean* no âmbito da conceção de projeto.

Com o foco na melhoria contínua, assim como na otimização dos recursos utilizados e na redução de desperdícios, têm sido desenvolvidas ferramentas e métodos de trabalho no âmbito da automatização de processos, adicionando valor às tarefas nas quais são implementadas.

Nesse sentido, a aposta em ferramentas e processos que permitem a partilha, análise e processamento de dados, através da criação de modelos analíticos, tem permitido gerar, por exemplo, diagramas esquemáticos de instalações técnicas, automatizar processos de dimensionamento ou criar mapas de elementos - como vãos, paredes ou pilares.

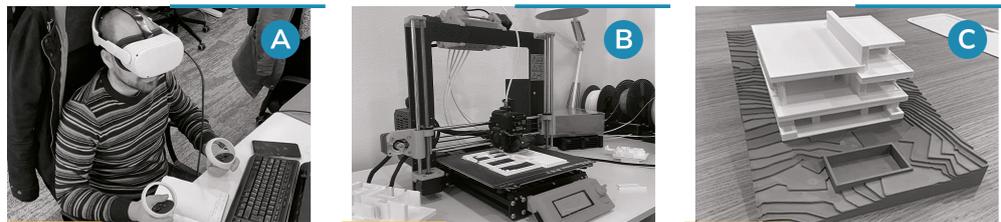
Um exemplo em que foi conseguida uma otimização dos recursos utilizados e redução de tarefas redundantes, é a substituição de folhas de cálculo enquanto método de dimensionamento hidráulico por *schedules* - tabelas de cálculo - pré configurados no *Revit*, com o apoio de rotinas desenvolvidas em *Dynamo*. Esta mudança de paradigma permitiu dinamizar todo o processo, uma vez que qualquer alteração efetuada nos *schedules* é aplicada diretamente nos respetivos elementos. Situação que não se verifica com a utilização de folhas de cálculo, dado que se trata de um documento autónomo e, por isso, sem qualquer tipo de ligação com os elementos do próprio modelo, o que implica que sempre que haja uma alteração no dimensionamento, a mesma tenha de ser feita também no modelo.

Outro exemplo da aplicação *Lean* na conceção de projeto é a integração do Estudo do Comportamento Térmico e Acústico nas diversas iterações de um projeto de Arquitetura. A identificação e caracterização das respetivas envolventes é realizada através de um conjunto de rotinas de *Dynamo*, exportando toda a informação para uma folha de cálculo onde são definidas as soluções construtivas e outras considerações necessárias. A implementação destas ferramentas contribuiu para a redução de alterações no projeto de Arquitetura provocadas pelo incumprimento dos requisitos destas especialidades, que, quando não identificadas atempadamente, podem implicar alterações significativas na solução proposta.

Ainda no âmbito da digitalização, mas aplicada à visualização dos modelos BIM, a Realidade Virtual (VR), suportada pela interoperabilidade entre o *Revit* e o *Enscape*, tem permitido uma experiência imersiva e visualmente rica, tornando possível explorar espacialmente os projetos. Esta capacidade facilita a visualização e a compreensão dos detalhes do modelo, oferecendo uma perspectiva incomparável que ajuda na tomada de decisões e na identificação de problemas de concepção antes da sua execução em obra.

A impressão 3D é um outro processo digital que permite criar objetos tridimensionais com precisão e rapidez. Desta forma, torna-se possível produzir maquetes de edifícios ou protótipos de equipamentos ou respetivas componentes, que facilitam a sua visualização de uma forma mais tangível.

Também a Inteligência Artificial Generativa (IAG) tem revolucionado a forma como determinadas tarefas passaram a ser executadas. São cada vez mais as aplicações suportadas por IAG disponíveis no mercado para as mais diversas áreas de atuação. Uma das mais conhecidas é o Chat GPT. Atualmente, apesar de apresentar ainda algumas limitações, esta ferramenta tem sido um recurso valioso na execução de tarefas como criação e revisão de código de programação, principalmente quando são necessários códigos em *python* e recurso à *API – Application Programming Interface* – do *Revit*.



**Figura 3**

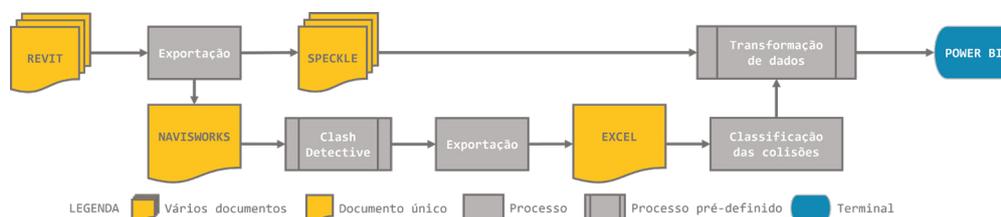
Processos digitais (A. realidade virtual; B. impressão 3D; C. prototipagem de modelos virtuais).

### 2.3. Coordenação e compatibilização

Apesar dos modelos de especialidades serem desenvolvidos em *Revit*, a sua coordenação segue uma abordagem *Open BIM*. Neste sentido, são utilizados softwares e plataformas que se baseiam em padrões abertos e interoperáveis, promovendo uma maior eficiência e eficácia no processo de construção e facilitando a comunicação e a partilha de informações de forma transparente e acessível a todos os envolvidos no projeto.

No âmbito da compatibilização de modelos, mais precisamente na análise de colisões, também conhecida por *Clash Detection*, o processo tem o *Speckle* como plataforma central. Esta aplicação funciona como uma infraestrutura digital que permite a interoperabilidade entre diversos softwares, colaboração em tempo real e gestão documental.

O processo, tal como ilustrado na figura 4, é constituído por dois fluxos de partilha de dados, culminando com a visualização de toda a informação num *dashboard*, reunindo numa única plataforma toda a informação relevante do projeto.



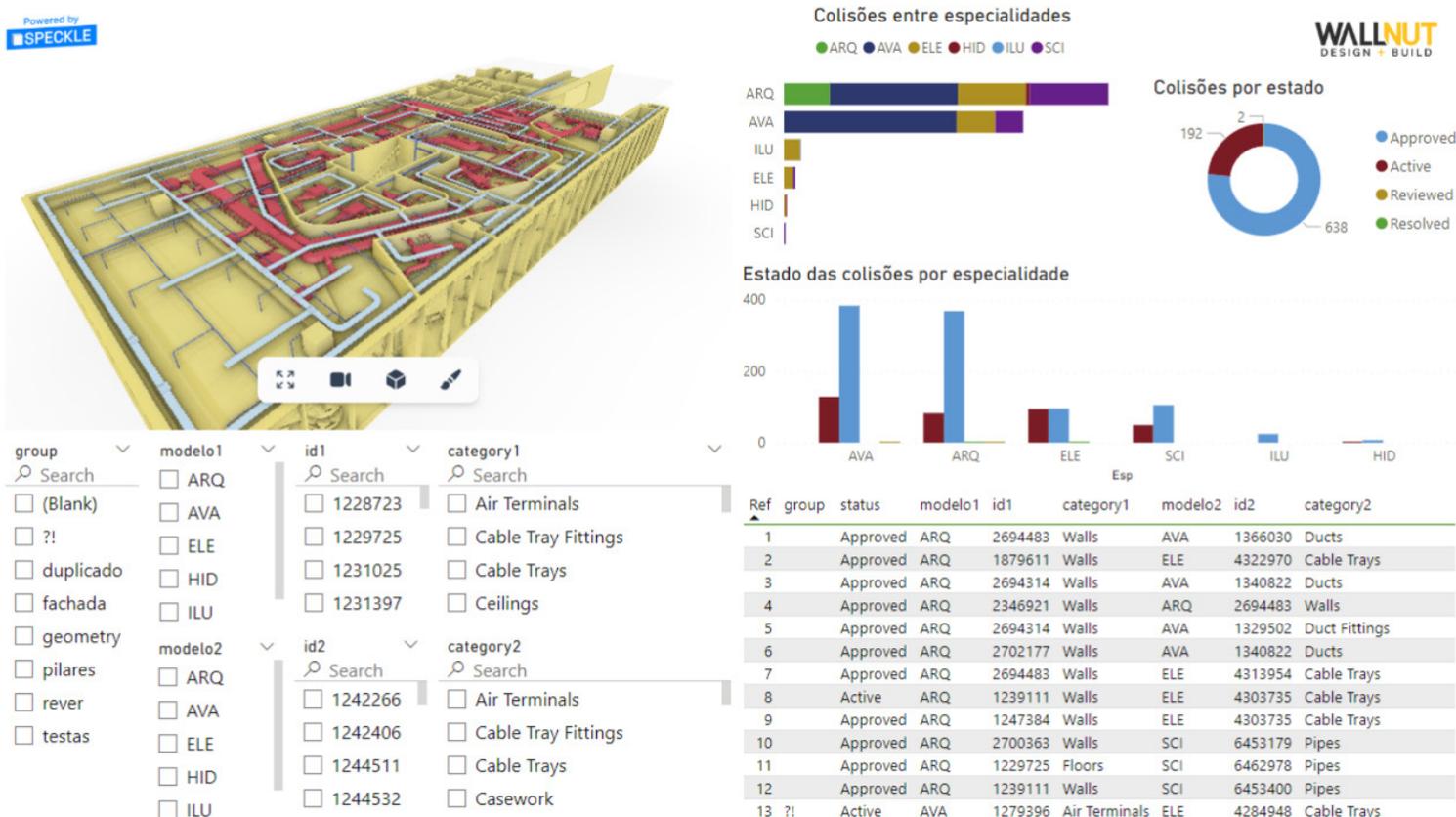
**Figura 4**  
Fluxograma do processo de identificação e classificação de colisões.

O primeiro fluxo funciona como um *pipeline*, tendo como principal função a partilha de informação dos modelos através do *Speckle*, exportando desta forma toda a informação – tanto analítica, como geométrica – a partir do *Revit*.

Paralelamente, recorrendo ao *Navisworks* são identificadas as colisões entre os elementos dos vários modelos e criados os respetivos relatórios de colisões, exportando-os no formato xml para uma folha de cálculo. Sendo este documento utilizado pelo responsável pela coordenação BIM para classificar as colisões, partilhando posteriormente a informação que resulta desta análise com o *Power BI*.

Na figura 5 encontra-se representado o *dashboard* desenvolvido de forma a apoiar a análise de colisões. A utilização desta ferramenta de *Business Intelligence* permite visualizar e avaliar os resultados de uma forma muito mais dinâmica.

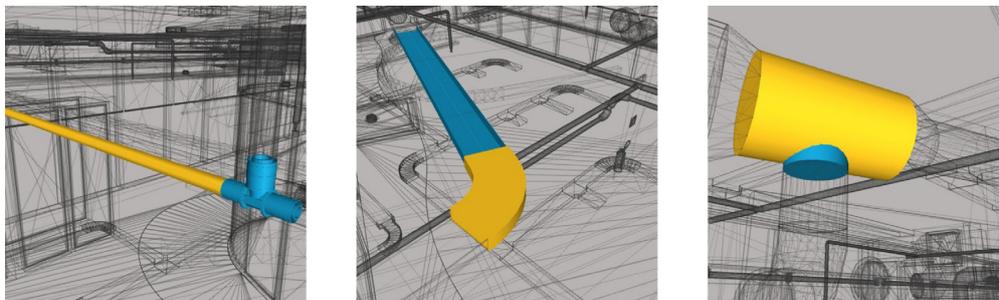
**Figura 5**  
*Dashboard* do relatório de colisões.



Ao longo do processo, existe um conjunto de rotinas de *Dynamo*, que têm como objetivo a partilha de informação entre os diferentes documentos. Como por exemplo classificar interseções que resultam de situações que se antevê que poderão ser identificadas indevidamente como colisões pelo *Navisworks*. Na figura 6 encontram-se ilustrados alguns exemplos deste tipo de situações, que, de uma forma geral, dizem respeito a ligações entre elementos da mesma especialidade.

**Figura 6**

Exemplo de colisões consideradas como falsos positivos (intersecções entre: tubagem e acessório, esteira técnica e respetiva curva, ligação de condutas).



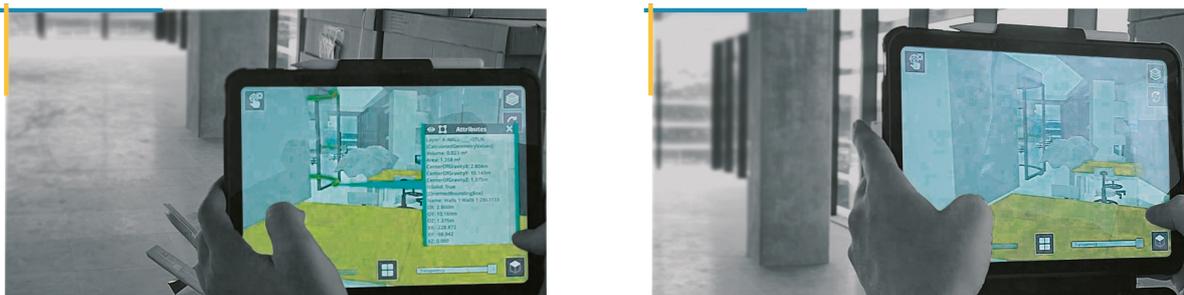
Outra rotina, igualmente essencial, tem como objetivo identificar nos respetivos modelos as colisões e o seu estado, de acordo com um código de cores.

Adicionalmente, o *Speckle* tem a capacidade de verificar e identificar alterações efetuadas entre diferentes versões dos modelos, função que também tem contribuído significativamente para uma maior eficiência na coordenação BIM.

Também a utilização do *Trimble Connect* como Ambiente Comum de Dados, ou *Common Data Environment* (CDE), tem facilitado substancialmente a gestão e coordenação de projetos de construção. Uma das grandes vantagens deste tipo de plataformas é a sua capacidade de integrar diversos formatos de dados, promovendo assim uma colaboração mais fluida e eficiente entre as partes envolvidas. Esta dinâmica tem um impacto muito positivo no processo, uma vez que garante a redução de erros, a otimização de procedimentos e uma economia de recursos, além de melhorar a qualidade geral do projeto através de uma comunicação mais objetiva.

## 2.4. Integração dos modelos BIM em obra

A adoção da Realidade Aumentada (AR) no contexto dos modelos BIM representa um avanço significativo, impulsionada pela necessidade de maximizar a utilização da informação contida nos modelos durante e após as fases de projeto. Utilizando soluções como o *Trimble Connect AR*, é possível aceder a informações detalhadas nos modelos BIM diretamente em obra, possibilitando que os intervenientes visualizem os modelos sobrepostos à realidade, em tempo real, através de dispositivos como tablets ou óculos de realidade aumentada. Esta inovação contribui para reduzir a necessidade de documentos impressos, mas também para melhorar a precisão, a eficiência e a segurança em obra, minimizando a ocorrência de erros e a necessidade de retrabalho.



**Figura 7**  
Aplicação da realidade aumentada em obra.

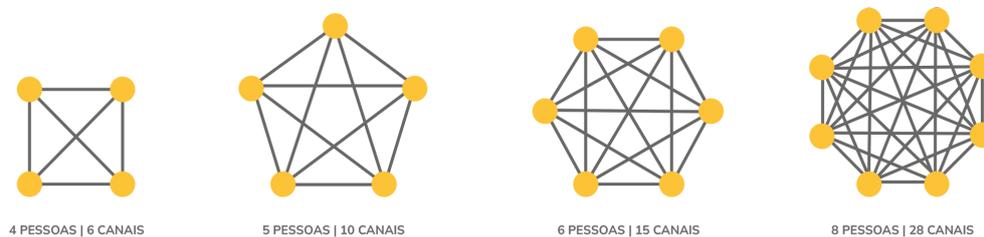
### 3. A ênfase na dimensão Humana

Apesar de toda a aposta tecnológica e da forma revolucionária como esta tem afetado a forma como determinadas tarefas passaram a ser executadas, há um elemento estruturante que não deve ficar esquecido: as pessoas.

Elas, com o seu conhecimento, experiência e habilidades, são as verdadeiras impulsionadoras da implementação bem-sucedida do BIM e do VDC. A capacitação e formação adequadas são essenciais para garantir que as equipas compreendem e utilizam essas ferramentas de forma eficaz.

Dois dos aspetos essenciais que potenciam os benefícios destas metodologias são a colaboração e a comunicação entre as partes interessadas.

A comunicação e colaboração eficazes são pedras angulares de qualquer projeto de construção, sendo que a sua complexidade varia consideravelmente consoante a dimensão das equipas envolvidas. Em equipas pequenas, a quantidade de canais de comunicação é menor e a comunicação tende a ser mais direta, o que facilita a troca de informações e uma tomada de decisões rápidas. Por outro lado, equipas com uma estrutura de maior dimensão apresentam desafios mais complexos ao nível da coordenação e da comunicação.



**Figura 8**  
O grau de complexidade de sistemas de comunicação considerando a quantidade de intervenientes.

Assim, a gestão de informações e a garantia de que todos os membros da equipa estão alinhados com os objetivos do projeto tornam-se tarefas mais complexas. É essencial estabelecer sistemas de comunicação eficientes, ferramentas de colaboração e uma estrutura de liderança clara para lidar com a complexidade crescente à medida que as equipas se expandem, ou, por outro lado, definir estratégias que permitam simplificar e otimizar os sistemas de comunicação.

Portanto, enquanto abraçamos os avanços tecnológicos, não nos podemos esquecer que as pessoas continuam a ser o coração e a alma do processo de construção, e sua participação ativa é fundamental para o sucesso.

### 3.1. Uma equipa vocacionada para a colaboração

Acreditamos numa abordagem que enfatize a centralidade das pessoas em todos os processos. Nesse contexto, desenvolvemos uma estratégia que reflete esse compromisso com a dimensão humana. Atuando com uma equipa multidisciplinar de dimensão relativamente reduzida, essa fusão estratégica tem possibilitado o desenvolvimento de uma cultura organizacional, onde há uma compreensão profunda do trabalho de cada indivíduo.

Essa compreensão torna-se especialmente crucial quando os membros da equipa representam diversas áreas técnicas, promovendo uma sensibilidade enriquecedora para a coexistência harmoniosa entre todas as especialidades.

Dentro deste contexto, a promoção de atividades regulares em grupo tem fortalecido os nossos laços interpessoais de maneira significativa. Além disso, a participação em exercícios concebidos para estimular a criatividade tem rendido resultados notáveis, contribuindo para nutrir um espírito de equipa e um sentimento de pertença que alimentam a colaboração inigualável que caracteriza esta abordagem.

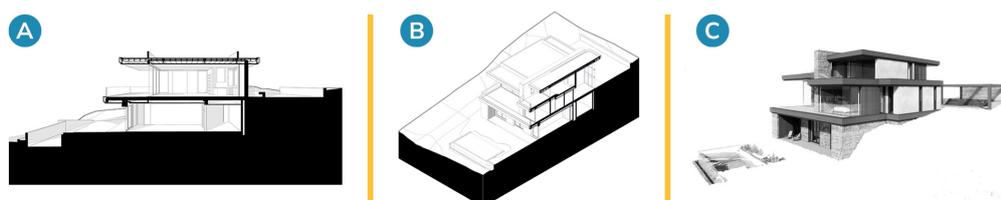
## 4. Apresentação de um caso prático

Um projeto que demonstra bem a aplicação das metodologias e ferramentas referidas ao longo do presente artigo, assim como o espírito colaborativo, é o de um empreendimento localizado na encosta do Rio Douro.

Neste projeto, a utilização do *drone* no levantamento do espaço exterior foi essencial para criar uma reprodução virtual do lote com uma área superior a 3 hectares. Este registo, prévio ao levantamento topográfico, foi essencial para uma rápida caracterização digital das condições topográficas e paisagistas existentes.

Outro grande benefício da sua utilização, é a possibilidade de visualizar imersivamente o levantamento realizado, evitando a necessidade de deslocações adicionais ao local.

Também a colaboração entre arquitetos e engenheiros foi crucial na fase de Estudo Prévio da Arquitetura de uma *Villa*, com cerca de 504m<sup>2</sup> de área bruta de construção. A integração do Estudo do Comportamento Térmico nessa fase preliminar permitiu uma definição muito aproximada da espessura final de elementos que constituem a envolvente opaca, resultando num impacto considerável no estudo da relação entre alinhamentos e transparências, que por sua vez definem a ligação entre os diferentes espaços interiores e exteriores neste projeto.



**Figura 9**  
Vistas da *Villa* (A. Corte;  
B. Axonometria;  
C, Render).

Este projeto representa um marco no âmbito da coordenação, uma vez que foi durante a conceção dos projetos deste empreendimento que foi desenvolvido e implementado o *workflow* da análise de colisões (Capítulo 2.3), permitindo uma abordagem holística na compatibilização entre modelos.

A utilização do *dashboard*, nessa fase da coordenação, tornou o processo mais incisivo, dando-lhe a capacidade não só de identificar e classificar as colisões, como propor desde logo possíveis soluções com vista à sua resolução de uma forma mais célere.

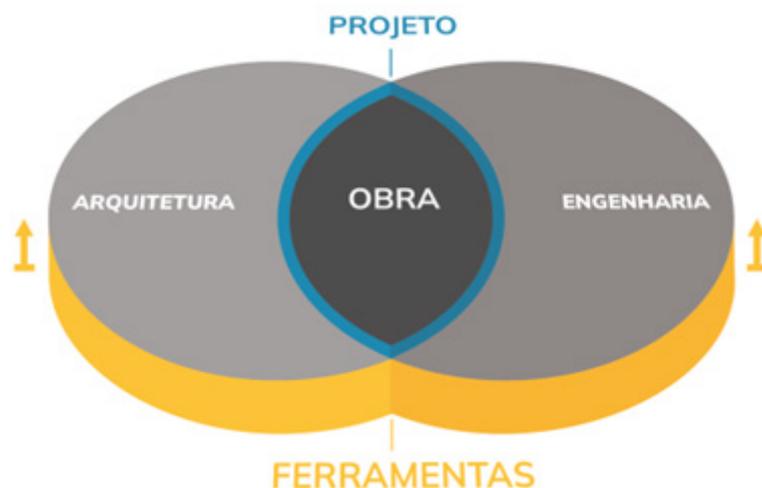
Neste projeto, esta nova abordagem permitiu encontrar e propor soluções para as colisões mais críticas em zonas muito circunscritas, como as instalações técnicas sobre tetos suspensos, que se revelou como uma grande melhoria na produtividade e eficiência nesta fase de projeto.

## 5. Conclusões

A transformação digital da indústria da AEC é um processo complexo e desafiador, que exige a adoção de novas tecnologias e metodologias holísticas de trabalho. Nesse contexto, o *Building Information Modeling* e o *Virtual Design and Construction*, juntamente com todas as ferramentas digitais e filosofias neles elencadas, surgem como peças fundamentais para a otimização dos processos de projeto, construção e operação de edifícios.

Contudo, é crucial reconhecer que a aposta ao nível tecnológico não é suficiente, nem garantia do sucesso. O foco deve estar sempre nas pessoas. A colaboração efetiva, o entendimento mútuo e o desenvolvimento de competências são fundamentais para fomentar a sinergia entre Arquitetura e Engenharia. Disciplinas que, quando alinhadas, são a força motriz da conceção e materialização de qualquer projeto. É na intersecção harmoniosa entre estas áreas do conhecimento que o projeto ganha vida, delineando o futuro da obra.

A figura 10 reflete essa dinâmica, sublinhando que, embora o modelo digital ofereça uma plataforma robusta para colaboração interdisciplinar, o êxito do projeto de construção está intrinsecamente ligado à capacidade dos profissionais em unir esforços, compreender as necessidades uns dos outros e aplicar as soluções tecnológicas com eficácia. Assim, o projeto não só atinge um nível de excelência, mas também se torna num testemunho do potencial ilimitado que surge do encontro produtivo entre Arquitetura e Engenharia.



**Figura 10**  
A sinergia entre  
arquitetura e  
engenharia.

## Referências

- [1] ISO TC59/SC13, “ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using Building Information Modeling – Part 1: Concepts and principles”, International Organization for Standardization (ISO), 2018.
- [2] Kunz, John e Fischer, Martin, “Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions”, CIFE Working Paper #097 Version 14, Stanford University, Janeiro 2012.
- [3] European Construction Sector Observatory, “Digitalisation in the construction sector”, Analytical Report, European Commission, Abril 2021.

# Compatibilização de projetos em BIM: Análise do projeto padrão FNDE Creche Pré-Escola Tipo 1

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.2>

**Vagner Wojcickoski<sup>1</sup>, Helena Engelhardt<sup>2</sup>,  
Talita Dal'Bosco<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> UNIVATES – Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, Brasil,  
ID ORCID 0009-0007-0707-8942

<sup>2</sup> Arquea Arquitetos, Curitiba, Brasil, ID ORCID 0009-0004-1327-7153

<sup>3</sup> Universidade do Minho, IRISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil,  
Guimarães, Portugal, ID ORCID 0000-0001-8684-7904

## Resumo

A adoção do *Building Information Modelling* (BIM), por meio do modelo federado, permite a visualização de todos os sistemas que compõem uma edificação de forma mais ampla, integrada e precisa. O Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) elaborou um projeto piloto que empregou a metodologia BIM para atualizar o projeto padrão da Creche Pré-Escola Tipo 1, revisando os projetos de arquitetura e complementares, originalmente concebidos com o método tradicional (CAD). Este projeto-piloto envolveu a atualização do projeto de arquitetura, permitindo uma avaliação minuciosa de todos os elementos que compõem a obra. Na sequência, os projetos complementares foram analisados de maneira integrada, disciplina por disciplina, de forma a atender aos requisitos estabelecidos pelo projeto de arquitetura. Este estudo de caso tem o objetivo de descrever, analisar e avaliar o processo de compatibilização entre o projeto de arquitetura e os projetos complementares, visando compreender as melhorias proporcionadas por esse processo no projeto como um todo, desde a utilização de arquivos BCF aos desafios inerentes ao trabalho colaborativo. A documentação das ações realizadas durante a compatibilização dos projetos oferece uma perspectiva crítica desse processo, permitindo identificar eventuais erros e proporcionando inúmeras possibilidades de melhorias para o trabalho colaborativo.

## 1. A Estratégia BIM-FNDE

Dentre as ações do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - FNDE está o desenvolvimento e constante atualização dos projetos padronizados de creches, pré-escolas e escolas que são ofertadas aos entes federativos por meio do Plano de Ações Articuladas – PAR. As ações são implantadas tanto em áreas urbanas como em localidades rurais, remanescentes de quilombos e aldeias indígenas. É função da Coordenação-Geral de Infraestrutura Educacional – CGEST desenvolver projetos arquitetônicos que atendam aos quesitos de padrão de construção mínimos e que estejam alinhados às políticas pedagógicas disseminadas pelo Ministério da Educação do Brasil.

Neste sentido, e visando atender ao decreto nº 10.306/2020 [1], que 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, e a Lei de Licitações nº 14.133/2021 [2], que dispõe, em seu art. 19, § 3º, que “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 substituí-la.”, o FNDE lançou sua Estratégia BIM-FNDE [3], que objetiva promover um ambiente indutor para o uso desta metodologia por meio das obras geridas pelo FNDE, sendo uma das ações da estratégia a atualização dos seus projetos padronizados para a metodologia BIM.

O projeto padrão piloto da Creche Pré-Escola Tipo 1 está inserido no Programa PROINFÂNCIA – Programa Nacional de Reestruturação e Aparentagem da Rede Escolar Pública de Educação Infantil, criado pelo governo federal brasileiro (MEC e FNDE), e faz parte das ações do Plano de Desenvolvimento da Educação (PDE), visando aprimorar a infraestrutura escolar referente ao ensino infantil, tanto na construção das escolas, como na implantação de equipamentos e mobiliários adequados, e, assim, proporcionar melhorias significativas na qualidade da educação. O programa, além de prestar assistência financeira aos municípios, com caráter suplementar, padroniza e qualifica as unidades escolares de educação infantil da rede pública [4].

Com o intuito de aprimorar a padronização das unidades escolares, a utilização do BIM possibilitou uma oportunidade de melhoria nos projetos originais, a partir da revisão sistemática do projeto de arquitetura e das disciplinas complementares, para além de um simples redesenho, mas de uma nova concepção dos elementos construtivos que passaram a ser representados tridimensionalmente, com informações agregadas aos modelos, e estabelecendo um diálogo entre as diversas disciplinas, permitindo uma compatibilização adequada e proporcionando soluções otimizadas e definitivas, melhorando consideravelmente a qualidade geral do projeto.

Embora este projeto seja o primeiro passo neste processo, é visível o salto de qualidade comparado com a revisão anterior, considerando a quantidade de detalhes

apresentados, soluções concebidas que não foram contempladas nas versões anteriores e, conseqüentemente, uma documentação técnica mais consistente e coerente, baseada nos modelos.

## 2. O Projeto Piloto – Creche Pré-Escola Tipo 1

O Projeto Padrão Creche Pré-Escola Tipo 1, desenvolvido para o Programa Proinfância, tem uma área construída de 1.324,27 m<sup>2</sup> e uma área de ocupação de 1.545,99 m<sup>2</sup>, em um terreno de 2.925,00 m<sup>2</sup>. Possui capacidade de atendimento de até 376 crianças, em dois turnos (matutino e vespertino), ou 188 crianças em período integral. Foi considerada como ideal a implantação desta tipologia de projeto em terreno retangular com medidas de 45m de largura por 65m de profundidade e declividade máxima de 3% [5]. A representação gráfica da elevação frontal do projeto padrão, bem como a planta baixa, podem ser observadas na Figura 1 e Figura 2.

O projeto arquitetônico segue um programa baseado nas necessidades de desenvolvimento da criança, tanto no aspecto físico, psicológico, como no intelectual e social. Foram levadas em consideração as diversidades que existem no país, fundamentalmente em aspectos ambientais, geográficos e climáticos, em relação às densidades demográficas, os recursos socioeconômicos e aos contextos culturais de cada região, de modo a propiciar ambientes com conceitos inclusivos, aliando as características dos ambientes internos e externos (volumetria, formas, materiais, cores, texturas) com as práticas pedagógicas, culturais e sociais.



**Figura 1**  
Elevação Frontal da  
Creche e Pré-Escola  
Tipo 1 – FNDE.



**Figura 2**  
Planta Baixa da Creche  
e Pré-Escola Tipo 1 –  
FNDE.

A definição do projeto de arquitetura possui características consolidadas desde a primeira revisão (R01), desenvolvida no ano de 2015 pelo corpo técnico do FNDE, revisada em 2017 para gerar a revisão 2 (R02), e, em 2022/2023, atualizada como parte da Estratégia BIM-FNDE, resultando na revisão 3 (R03).

A revisão 3 difere-se das anteriores por ter como principal condicionante a necessidade de todas as disciplinas serem desenvolvidas com softwares que utilizassem a metodologia BIM. Entretanto, para a entrega final, foi exigido o uso exclusivo de arquivos no formato IFC (*Industry Foundation Classes*) [6]. Isso permitiu um olhar mais atento às revisões anteriores, proporcionando o preenchimento de lacunas e soluções técnicas que não haviam sido observadas, em função das características específicas do processo tradicional CAD, no qual haviam sido desenvolvidas as etapas iniciais.

Dado que o FNDE não dispunha de profissionais necessários capacitados no uso de aplicativos de modelagem BIM para todas as disciplinas, a equipe elaborou um Plano de Execução BIM - BEP com o intuito de contratar profissionais qualificados para desenvolver a modelagem do projeto padrão, originalmente concebido no método tradicional, para a metodologia BIM. Este BEP buscou orientar os profissionais quanto aos parâmetros específicos do programa Proinfância e enfatizar a importância de manter a consistência do modelo BIM com o projeto amplamente disseminado em todo o país. Portanto, as alterações no partido arquitetônico do projeto estavam limitadas à resolução de conflitos, às atualizações de legislações e normas técnicas construtivas e à adaptação de materiais que não estivessem mais disponíveis no mercado.

O BEP estabelece alguns objetivos para a modelagem BIM do projeto da Creche Pré-Escola Tipo 1. Aqui destacamos os objetivos que focam a resolução dos principais

desafios enfrentados pelo FNDE em seus projetos padronizados concebidos no método tradicional (CAD): a) Aumentar a qualidade dos projetos de forma a proporcionar maior clareza nas peças técnicas; b) Desenvolver os projetos com maior nível de precisão, anulando as incompatibilidades entre as disciplinas e minimizando problemas de execução na obra; c) Extrair os quantitativos diretamente dos modelos para uma planilha orçamentária mais confiável, evitando aditivos de recursos públicos; d) Gerar modelos virtuais para facilitar a construção e fiscalização das obras, além de proporcionar subsídios para uma melhor operação e manutenção do edifício.

Para atingir esses objetivos, alguns usos do BIM foram inicialmente estabelecidos: Modelação das especialidades; Coordenação 3D; Gestão documental; Revisão do projeto; e Extração de quantidades.

Outro aspeto relevante abordado no BEP foi a definição do nível de informação necessária para os elementos. Os requisitos de informação são parte do conceito mais importante para a gestão da informação, pois são eles que definem as entradas de informações para todo o ecossistema de gerenciamento de informação [7]. São eles que definem como e quando as informações devem ser trocadas no ciclo de vida da edificação [8] e devem ser estruturados de forma consistente para permitir a entrega assertiva das informações [9].

Para este quesito, utilizou-se como ponto de partida o projeto concebido no método tradicional (CAD). Na sequência, as informações geométricas (descrição, dimensionamento, localização e aparência) e alfanuméricas (identificação e conteúdo da informação) foram organizadas em um documento visual anexo ao BEP, como por exemplo: organização da modelagem das alvenarias e lajes por composição de camadas dentro do elemento, distinção entre revestimentos internos e externos para uma melhor extração das quantidades e correta definição das classes IFC para cada elemento. Um exemplo de parte desta organização pode ser visualizado na Figura 3. Além disso, optou-se por adotar o padrão IFC para a troca de informações, possibilitando a utilização de diferentes aplicativos BIM.

Figura 3

Exemplo do Nível de Informação Necessária.

PAREDES	
CLASSIFICAÇÃO ARCHICAD V2.0	Elemento de Construção > Parede
CLASSIFICAÇÃO NBR	A definir
VEGETAL	ARQ-ALV (Alvenaria)
ID	Gerado automaticamente
NOMENCLATURA FAVORITOS	<p>Estrutura:</p> <p><b>FNDE-Posição+Espessura</b></p> <p>Exemplo: <b>FNDE-Externa 20 (Genérica)</b></p> 
FAVORITOS DO TEMPLATE	<p>Foram criados para o Template alguns favoritos para auxiliar o início da modelagem das alvenarias das tipologias Proinfância. Os favoritos já estão definidos com a correta classificação e com as propriedades mínimas necessárias.</p> 
PROPRIEDADES RELACIONADAS	<b>ID E CATEGORIAS</b> <b>Função Estrutural:</b> Elemento Não Estrutural <b>Posição:</b> Interior ou Exterior
	<b>FNDE-GERAL</b> <b>Bloco:</b> Indicar a que bloco da edificação pertence (A,B,Pátio Coberto...)
	<b>FNDE-ALVENARIAS</b> <b>Alvenarias:</b> Escolher entre Alvenaria de vedação/edificação e Mureta
	<b>FNDE-SISTEMAS DE COBERTURA</b> <b>Elementos Cobertura:</b> Selecionar o tipo de elemento (Apenas para alvenarias de platibanda)
REQUISITOS DE INFORMAÇÃO	Largura: medidas em metros (m) Altura: medidas em metros (m) Área: quantidade em metros quadrados (m2) Material: definição dos materiais pelo método camadas de composição do elemento Localização: indicar a posição absoluta do elemento Aparência: visualmente similar ao material empregado

Desta forma, a revisão R03 foi estruturada em três etapas principais. Na primeira etapa, foi realizado um levantamento de dados e informações necessárias sobre os projetos padrão, visando à adaptação destes ao processo BIM. Além do projeto arquitetônico, foram analisados os projetos das demais disciplinas, os memoriais descritivos, os memoriais de cálculo e os manuais técnicos do FNDE. A partir desta análise, deu-se início à segunda etapa, que contemplou a modelagem tridimensional das disciplinas na metodologia BIM, sob supervisão de um profissional habilitado e com experiência em suas respectivas disciplinas. Nesta etapa, buscou-se as melhores soluções técnicas para a modelagem dos elementos construtivos, mobiliários e equipamentos, além das adequações do projeto para atendimento das atualizações das legislações e normas técnicas vigentes, a fim de atingir os usos do BIM acima estabelecidos. Na Tabela 1 estão descritas as disciplinas e os softwares utilizados na etapa de modelagem. Além das disciplinas listadas, foram desenvolvidas soluções

para reuso de águas pluviais e preparo para a recepção de placas fotovoltaicas, que não estavam previstas originalmente.

Na terceira etapa os modelos foram compatibilizados entre si até a total correção de conflitos e interferências e, em seguida, a documentação gráfica foi gerada para uso durante a execução da obra, inclusive os modelos no formato de arquivos IFC. Cada projeto foi desenvolvido individualmente, com olhar técnico para cada disciplina, e refletem as soluções que foram definidas nas etapas anteriores.

Tabela 1: Disciplinas desenvolvidas e softwares utilizados.

<b>Disciplina</b>	<b>Software</b>	<b>Profissional</b>
Arquitetura	Graphisoft ArchiCad	Arquiteto e Urbanista
Estrutura de concreto e fundações superficiais de concreto	AltoQi Eberick	Engenheiro Civil
Estrutura Metálica	Mcalc 3D e TecnoMetal	Engenheiro Mecânico
Instalações Hidrossanitárias (Hidráulica – Sanitário – Drenagem Pluvial)	AltoQi Builder	Engenheiro Civil
Instalações Elétricas, Cabeamento Estruturado e SPDA	AltoQi Builder	Engenheiro Eletricista
Climatização	AltoQi Builder	Engenheiro Mecânico
Ventilação e exaustão	Autodesk Revit	Engenheiro Mecânico
Rede de Gás GLP	AltoQi Builder	Engenheiro Mecânico
Prevenção e Combate a Incêndio	Autodesk Revit	Engenheiro Civil
Coordenação dos Modelos	BIM Collab Zoom	BIM Manager

### 3. O Processo de Coordenação

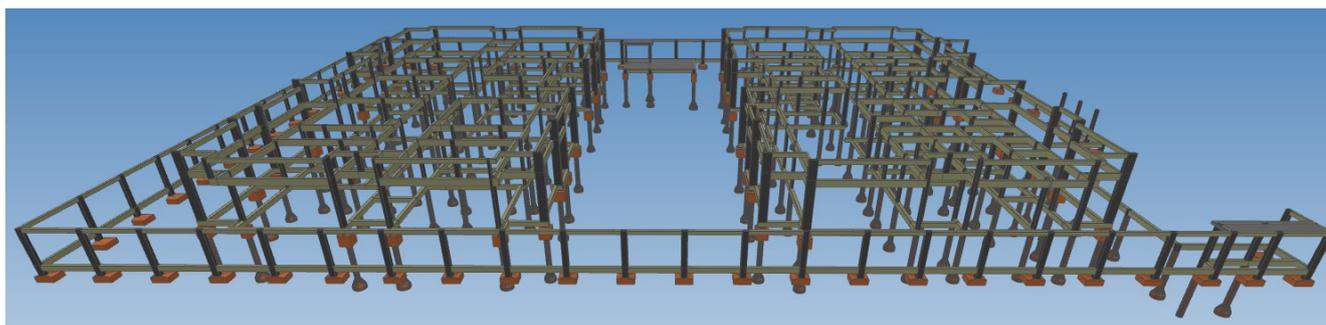
Quanto ao processo de colaboração, realizou-se uma adaptação das diretrizes da ISO 19650, a qual aponta a necessidade de quatro áreas nas quais a informação pode ser gerida: a área de trabalho em desenvolvimento (Work in Progress (WIP)), a área partilhada (Shared), a área de publicação/ emissão (Publish/Issued) e a área de arquivo (Archive). Um dos pontos críticos num projeto colaborativo em BIM reside em determinar como conectar os diferentes modelos BIM por meio de uma plataforma virtual partilhada e como os intervenientes devem organizar seus modelos para facilitar a gestão da informação no processo colaborativo.

Neste ponto, cumpre destacar que, devido à complexidade das compras governamentais na aquisição de softwares, todo o trabalho foi realizado utilizando versões de avaliação (trial) dos softwares de CDEs. Porém, essas versões de teste tinham prazos menores do que o prazo do projeto, o que resultou em migrações constantes para outras plataformas. No desfecho, todos os arquivos foram migrados para o Google

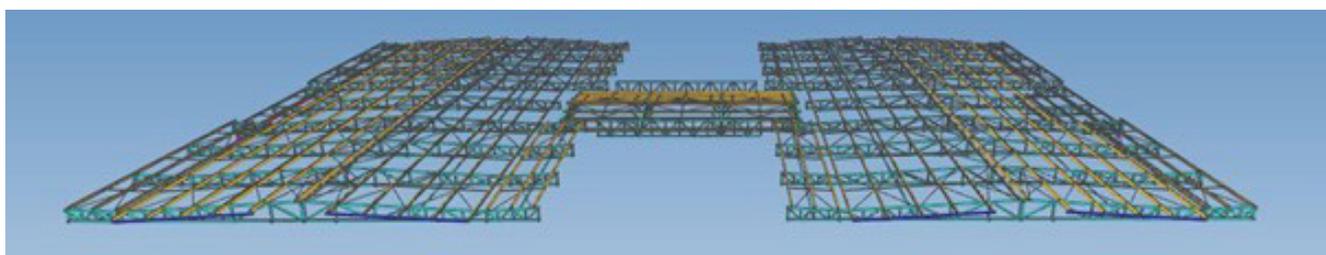
Drive, que carece de controle de versionamento de documentos, causando incertezas quanto às versões dos projetos, atrasos e retrabalhos.

Posto isto, no processo de compatibilização foram utilizados os arquivos no formato IFC, gerados pelos softwares de modelagem de cada disciplina. Este formato de colaboração é aceito internacionalmente como parte indissociável do processo de projeto em BIM, permitindo integração, colaboração e interoperabilidade entre os diversos profissionais da equipe, sem necessidade de traduções complexas e perda de dados [10]. As Figuras 4 a 8 ilustram os modelos IFC iniciais gerados por cada disciplina.

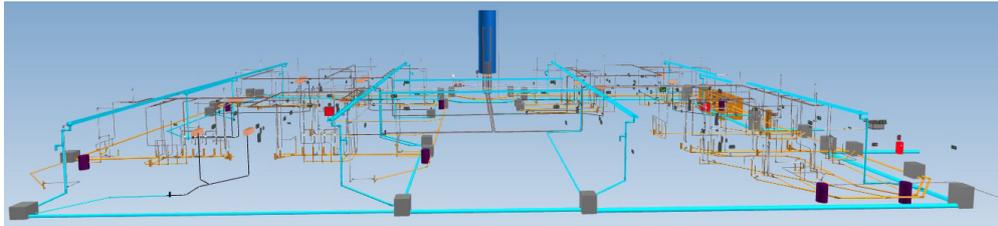
**Figura 4**  
Modelo IFC de  
Arquitetura.



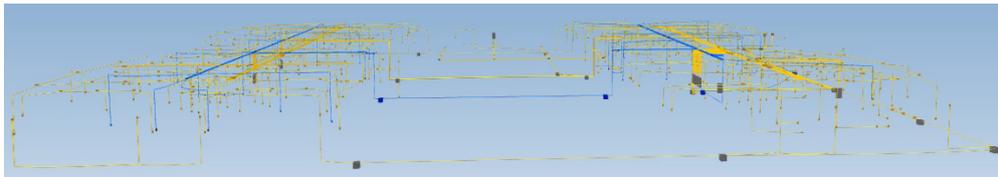
**Figura 5**  
Modelo IFC de  
Fundação e Estrutura de  
Concreto Armado.



**Figura 6**  
Modelo IFC de Estrutura  
Metálica.

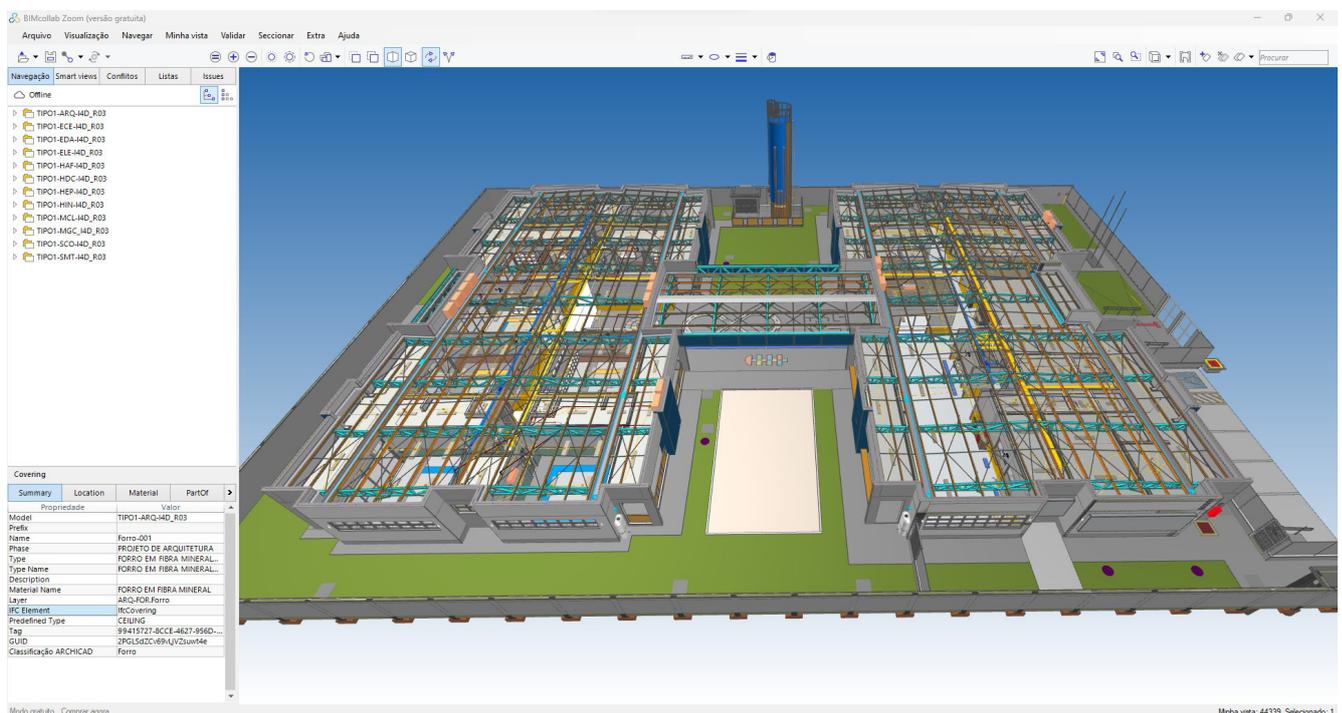


**Figura 7**  
Modelo IFC de Instalações Hidrossanitárias e Prevenção e Combate a Incêndio.



**Figura 8**  
Modelo IFC de Instalações Elétricas e Cabeamento Estruturado.

Os modelos no formato IFC de cada disciplina foram reunidos em único arquivo, o modelo federado, como ilustrado na Figura 9, para uma melhor avaliação das interferências e do relacionamento entre as disciplinas. Esses arquivos foram disponibilizados em um drive virtual e organizados para visualização no software BIM Collab Zoom.



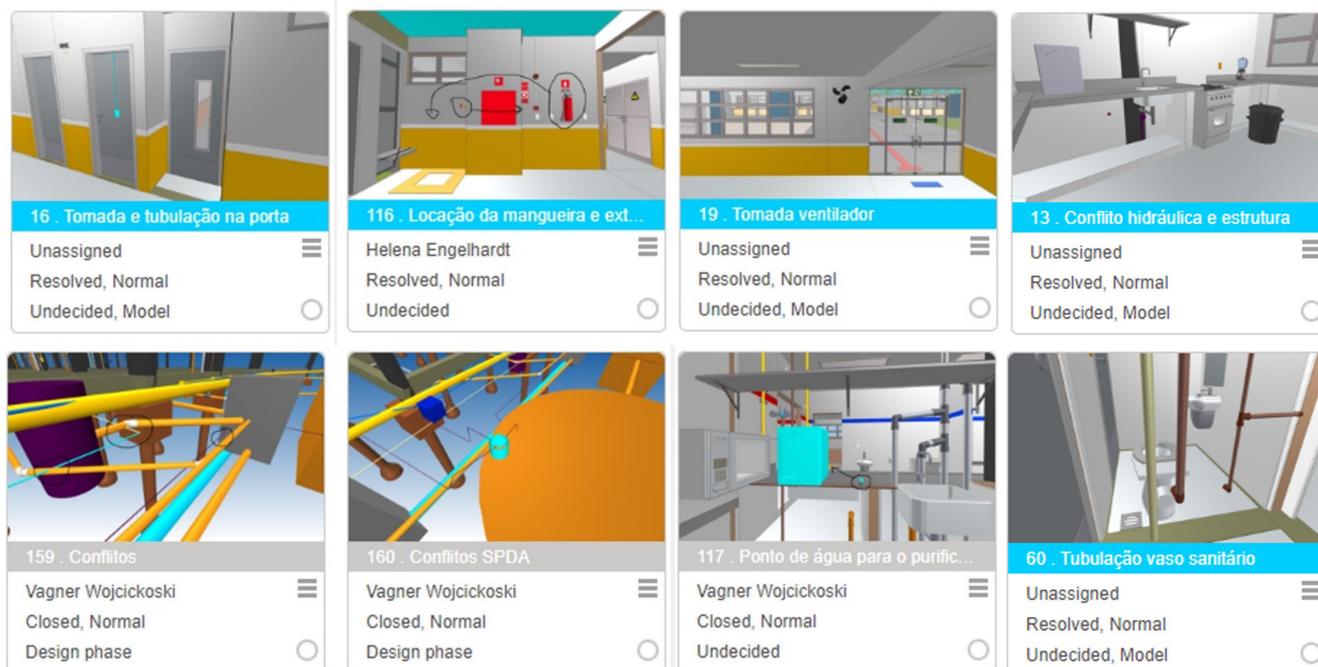
**Figura 9**  
Modelo Federado – BIM Collab Zoom.

Devido à dificuldade do setor público no que tange às compras públicas, neste caso de softwares de coordenação de modelos, a equipe optou pela realização de uma compatibilização visual do modelo federado. Portanto, é importante destacar que não foram utilizados sistemas de regras de compatibilização para detecção automática de conflitos entre as disciplinas. A compatibilização visual ocorreu através do olhar atento dos técnicos do FNDE, que possuem grande familiaridade com os projetos originais e podem verificar inconsistências não apenas em relação a soluções técnicas, mas também em relação às definições de projeto estabelecidas nas etapas iniciais. Tal situação gerou atrasos e um volume considerável de horas na verificação dos conflitos entre as disciplinas do projeto.

Considerando que os projetos foram desenvolvidos com base nos projetos originais em CAD, não foram registradas alterações significativas entre os novos modelos em BIM e as versões anteriores do método tradicional, com exceção de soluções técnicas validadas pela equipe técnica do FNDE, que representaram melhorias, como redimensionamento das redes hidráulicas que proporcionaram melhor desempenho de vazão e pressão nos pontos de utilização, e reposicionamento de ambientes garantindo maior mobilidade entre os espaços.

Portanto, a compatibilização centrou-se na observação de conflitos físicos, como tubulações sobrepostas ou elementos estruturais aparentes. No entanto, devido à complexidade do projeto e à quantidade de disciplinas analisadas, foi necessário utilizar um relatório de Issues e a troca de informações em arquivo no formato BCF (BIM Collaboration Format) [6] para a colaboração.

Durante o processo de compatibilização visual das disciplinas, mais de 164 conflitos foram registrados. Alguns exemplos desses registros incluem tubulações de água fria e elétrica em conflito com vãos de janelas e portas, a identificação da necessidade de reposicionamento de equipamentos de combate a incêndio, a inexistência de ponto de água e de energia elétrica em alguns equipamentos, e caixas de águas pluviais em conflito com caixas do sistema de proteção contra descargas atmosféricas, conforme ilustrado na Figura 10.



#### 4. Sobre os Resultados

As lições aprendidas neste projeto piloto foram de suma importância, uma vez que elevaram a maturidade BIM da equipe e a capacitaram para os futuros projetos. Ficou evidente que a transição do projeto original, concebido no método tradicional (CAD), para a metodologia BIM, representou uma oportunidade de aprendizado inigualável. A revisão detalhada das disciplinas à luz das normas técnicas vigentes e o reposicionamento estratégico de ambientes não apenas atualizaram o projeto, mas também aprimoraram sua funcionalidade. Ademais, a extração de quantitativos mais precisa contribuiu para ampliar a confiabilidade na planilha orçamentária fornecida pelo FNDE. A eliminação de conflitos críticos proporcionou maior qualidade nas peças técnicas fornecidas e o modelo BIM permitiu maior geração de detalhes construtivos e visualização 3D, melhorando a comunicação no canteiro de obras.

O fluxo de trabalho colaborativo apresentou desafios, mas o aprendizado adquirido nessa abordagem ajudou o FNDE a visualizar o processo de pactuação das obras entre os atores envolvidos. O uso de padrões abertos permitiu a integração de diversas ferramentas de modelagem, promovendo a flexibilidade e interoperabilidade. Além disso, a utilização do formato BCF facilitou a comunicação ao reduzir a troca de e-mails com captura de erros de projeto, acelerando o processo de compatibilização. Esse processo é crucial, pois envolve a análise criteriosa e colaborativa das disciplinas para identificar e resolver interferências, minimizando problemas na fase de construção.

**Figura 10**  
Visualização das interferências no Software BIM Collab Zoom.

Por outro lado, a dificuldade enfrentada nas compras governamentais, especialmente na aquisição de softwares CDE e de coordenação de modelos, se revelou como a maior barreira e desafio durante a condução do projeto piloto.

## 5. Considerações

A partir da entrega dos produtos gráficos das disciplinas, obteve-se um conjunto técnico de soluções de projeto adequados às necessidades do FNDE. Todos os projetos apresentados contaram com o respaldo de profissionais qualificados, com formação específica em suas áreas de atuação. As soluções e decisões tomadas foram de comum acordo com os profissionais do FNDE e estão alinhadas com seus princípios e objetivos.

Naturalmente, por se tratar de uma revisão baseada em projetos anteriores, e considerando que o FNDE está sempre em busca de melhoria contínua, não é possível afirmar que os elementos apresentados são soluções definitivas. No entanto, é possível crer que representam um grande avanço para os projetos padronizados para a educação, e podem servir de guia e exemplo para os próximos, buscando assim novas melhorias a cada projeto desenvolvido.

Por fim, tendo adquirido uma visão mais clara do potencial do BIM, o FNDE identificou seu papel fundamental na disseminação dessa metodologia no país e o impacto positivo que pode proporcionar junto aos entes federativos. Como resultado, o FNDE elaborou a Estratégia BIM FNDE, um marco significativo na promoção do BIM em seus projetos de infraestrutura educacional.

## Referências

- [1] Brasil, Decreto no 10.306/2020. Brasília, Brasil: Presidência da República, 2020.
- [2] Brasil, Lei no 14.133/2021. Brasília: Presidência da República, 2021.
- [3] FNDE, Estratégia BIM-FNDE. Brasília, 2023.
- [4] Brasil, Decreto no 6.094, de 24 de Abril de 2007, vol. 20, no. 68. Brasília: Presidência da República, 2007. doi: 10.1590/S0101-73301999000300004.
- [5] “Projeto Padrão BIM FNDE.” Accessed: Dec. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.gov.br/fnde/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/par/bim-modelagem-de-informacao-na-construcao/projeto-padrao-bim-fnde>
- [6] “BuildingSMART International.” Accessed: Dec. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>

- [7] T. R. Ribeiro, J. C. F. Ramos, V. M. A. de Oliveira, and R. C. Ruschel, "Understanding the information requirements of ISO 19650," in *Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção*, Porto Alegre: Antac, 2021, pp. 1-13.
- [8] L. Manzione, S. Melhado, and C. L. Nóbrega Júnior, *BIM e Inovação em Gestão de Projetos*. São Paulo: LTC, 2021.
- [9] ISO, "Organizing information about construction works-Information management using construction information modeling Part 1: Concepts and principles (ISO 19650-1:2018)," Switzerland, Dec. 2018.
- [10] S. R. L. de Amorim, *Gerenciamento e Coordenação de Projetos BIM: um guia de ferramentas e boas práticas para o sucesso de empreendimentos*, 2a ed. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2023.



# A importância de um template em projeto BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.3>

**Gonçalo Valente<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Work in BIM Lda., Lisboa*

## Resumo

Sabemos que as ferramentas BIM (*Building Information Modeling*) são essenciais para a fase de projeto, tendo como principais benefícios: otimização de tempo e recursos; controlo e coerência de documentação; modelação e informação entregue ao dono de obra; e compatibilização dos modelos BIM de todas as áreas de projeto envolvidas.

Todos os projetos BIM têm início num ficheiro tipo (*template*). Neste artigo apresentamos alguns casos de estudo que ilustram como configurar um template, a importância do controlo de qualidade, a interoperabilidade com as diversas especialidades e a consequente possibilidade de quantificação de qualquer elemento do projeto. Investir num *template* é potenciar um projeto em BIM, com a vantagem de poder evoluir para projetos futuros.

## 1. Introdução

Os projetos de arquitetura envolvem a colaboração entre vários intervenientes de equipas multidisciplinares. Tradicionalmente, os esforços de colaboração eram baseados na troca de documentação e desenhos 2D mas, mais recentemente, a utilização de ferramentas CAD passou a ser amplamente adotada. Esta transição gerou um interesse crescente pelo *Building Information Modelling* (BIM) que possibilita outras aplicações de análise, controlo do modelo e gestão de ativos. Qualquer programa de modelação BIM inclui um ficheiro tipo (*template*). Contudo, este pode ser ajustado para se tirar o máximo partido da sua utilização. Não existe um *template* universal para todos os tipos de projeto e se pretendermos potenciar projetos em BIM, devemos começar pelo princípio: adequar o *template* e a estrutura base de trabalho à necessidade do projeto. Neste artigo apresentamos as vantagens da configuração de um *template* de um modelo BIM, que inclui a configuração de atributos, as classificações, as propriedades, a organização do modelo BIM e a respetiva documentação. De seguida, abordamos os processos de controlo qualidade, a interoperabilidade com outras equipas de projeto e a quantificação. Para ilustrar a eficiência na organização do modelo são apresentados dois casos de estudo nos quais foram aplicados métodos diferentes. Estes projetos foram desenvolvidos em Archicad 26 e de acordo com documento “*Archicad Template Creation*” [1].

## 2. Quais as vantagens de configurar um template no modelo BIM

Todos os projetos BIM têm necessidade de gestão de informação dos elementos construtivos (3D) ou mesmo de elementos de documentação (peças desenhadas 2D). Estruturar essa informação pode trazer benefícios diretos para o desenvolvimento do projeto a qualquer escala, nomeadamente:

- Adequação do BIM aos requisitos do cliente, projetistas e projeto;
- Automatização (3D) de modelação e informação (ex., classificação e propriedades);
- Automatização (2D) de documentação (ex., *layouts* e mapas);
- Compatibilização dos modelos BIM de todas as áreas de projeto;
- Controlo de qualidade global, transversal a vários projetos.

Desta forma, consegue-se otimizar metodologias, equipas e prazos de entrega.

### 3. Configurar um *template*

#### 3.1. Como iniciar um novo *template*

Podemos começar um novo *template* com base no ficheiro-tipo do programa e incrementar níveis de desenvolvimento consoante as necessidades do projeto, como por exemplo materiais de construção.

Por outro lado, podemos também criar um *template* de raiz onde exista um sistema com estrutura transversal, que permita uniformizar toda a informação contida nos diferentes atributos de um projeto através da sua nomenclatura. Na Figura 1, apresentamos um exemplo de estrutura com base em prefixo por tipo de elementos construtivos. Verificamos que elementos estruturais contêm prefixo 20, elementos de arquitetura contêm prefixo 25 e outras especialidades contêm prefixo 45, podendo cada conjunto ser subdividido. Esta estruturação pode existir em composições de materiais (incluem prefixo C), em favoritos (incluem prefixo F) ou em vegetais (incluem prefixo E). Pode também existir uma nomenclatura fora do modelo, tanto em pastas de organização no computador, como em bibliotecas de objetos. Com esta estrutura de informação, aumentamos a coerência global associada ao projeto, tornando a pesquisa de elementos mais fluída para toda a equipa.



#### 3.2. Configuração de atributos

Atributos são grupos de definições disponíveis no BIM, não só de materiais de construção como também de representação desses materiais. Estes podem ser por exemplo tipos de linhas, tramas e superfícies, que estão na base da modelação e documentação de qualquer projeto.

Todos os atributos têm um identificador único (ID) que o define e permite assim uma interligação entre diferentes ficheiros ou módulos, indicado na coluna “#” na Figura 2. Quando importamos atributos de outras fontes (projetos de referência ou objetos de bibliotecas), estes contêm atributos nativos não desejáveis para o projeto. Este é um problema recorrente e um dos principais motivos de contaminação de informação num projeto. Na Figura 2, podemos verificar um exemplo desse problema, com materiais e superfícies repetidas e em diversos idiomas. Esta questão pode

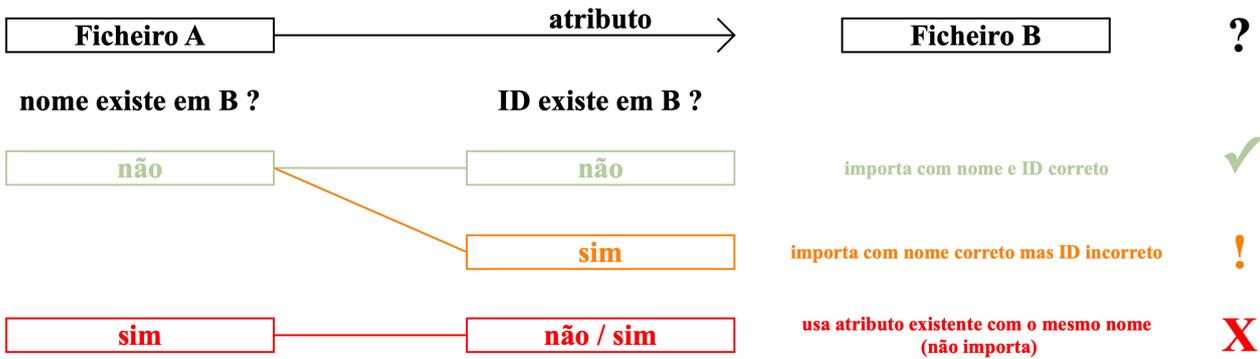
**Figura 1**  
Exemplo de composições de materiais, favoritos, vegetais e pastas de trabalho.

originar dificuldades no controlo de representação e documentação 2D mas, acima de tudo, no controlo de informação do modelo e respetiva quantificação.

Materiais de Construção				no Projecto				Superfícies				no Projecto			
#	Nome			#	Nome			#	Nome			#	Nome		
✓ 12	Insulation - Fiber Hard		420	✓ 15	Wood - Pine Grained Horizontal			✓ 15	Wood - Pine Grained Horizontal			✓ 15	Wood - Pine Grained Horizontal		
✓ 13	Insulation - Fiber Soft		410	✓ 16	Wood - Walnut Horizontal			✓ 16	Wood - Walnut Horizontal			✓ 16	Wood - Walnut Horizontal		
✓ 14	Insulation - Mineral Hard		440	✓ 124	Wood - Mahogany Horizontal			✓ 124	Wood - Mahogany Horizontal			✓ 124	Wood - Mahogany Horizontal		
15	Insulation - Mineral Soft		430	✓ 148	Wood - Mahogany Horizontal copy			✓ 148	Wood - Mahogany Horizontal copy			✓ 148	Wood - Mahogany Horizontal copy		
✓ 404	Insulation - Mineral Soft (2)		600	✓ 362	Madeira - Pinheiro Granulado Horizontal			✓ 362	Madeira - Pinheiro Granulado Horizontal			✓ 362	Madeira - Pinheiro Granulado Horizontal		
✓ 407	Insulation - Mineral Soft (3)		600	✓ 396	Madeira - Nogueira Horizontal			✓ 396	Madeira - Nogueira Horizontal			✓ 396	Madeira - Nogueira Horizontal		
✓ 414	Insulation - Mineral Soft (4)		600	✓ 405	Madeira - Mogno Horizontal			✓ 405	Madeira - Mogno Horizontal			✓ 405	Madeira - Mogno Horizontal		
✓ 16	Insulation - Plastic Hard		460	✓ 1476	Wood - Pine Grained Horizontal (2)			✓ 1476	Wood - Pine Grained Horizontal (2)			✓ 1476	Wood - Pine Grained Horizontal (2)		
✓ 17	Insulation - Plastic Soft		450	✓ 1483	Wood - Pine Grained Horizontal (3)			✓ 1483	Wood - Pine Grained Horizontal (3)			✓ 1483	Wood - Pine Grained Horizontal (3)		
✓ 18	Insulation - Thermal Brake		820	✓ 3150	--   --   Madeira Nogueira Horizontal			✓ 3150	--   --   Madeira Nogueira Horizontal			✓ 3150	--   --   Madeira Nogueira Horizontal		
✓ 180	Iron, Cast		700	✓ 3160	--   --   Madeira Mogno Horizontal			✓ 3160	--   --   Madeira Mogno Horizontal			✓ 3160	--   --   Madeira Mogno Horizontal		
✓ 383	Iron, Wrought		700	✓ 3162	--   --   Madeira - Ipé Horizontal			✓ 3162	--   --   Madeira - Ipé Horizontal			✓ 3162	--   --   Madeira - Ipé Horizontal		

**Figura 2**  
Exemplo de problemas em materiais de construção e superfícies.

Por forma a evitar este tipo de problema, é necessário compreender que a gestão de atributos entre ficheiros no Archicad é efetuada através da confirmação do nome e ID do respetivo atributo no ficheiro a importar. Na Figura 3 podemos verificar o resultado da importação automática de um atributo quando copiamos para o ficheiro de destino (Ficheiro B) um elemento ou um módulo de um ficheiro de origem (Ficheiro A). Primeiro, é confirmado se existe um atributo com o mesmo nome no ficheiro de destino. Segundo, é verificado se o ID está disponível. No caso de existir o mesmo nome de atributo, a informação não é importada para o ficheiro de destino, uma vez que o programa assume, erradamente, que o atributo nativo deste ficheiro está correto.



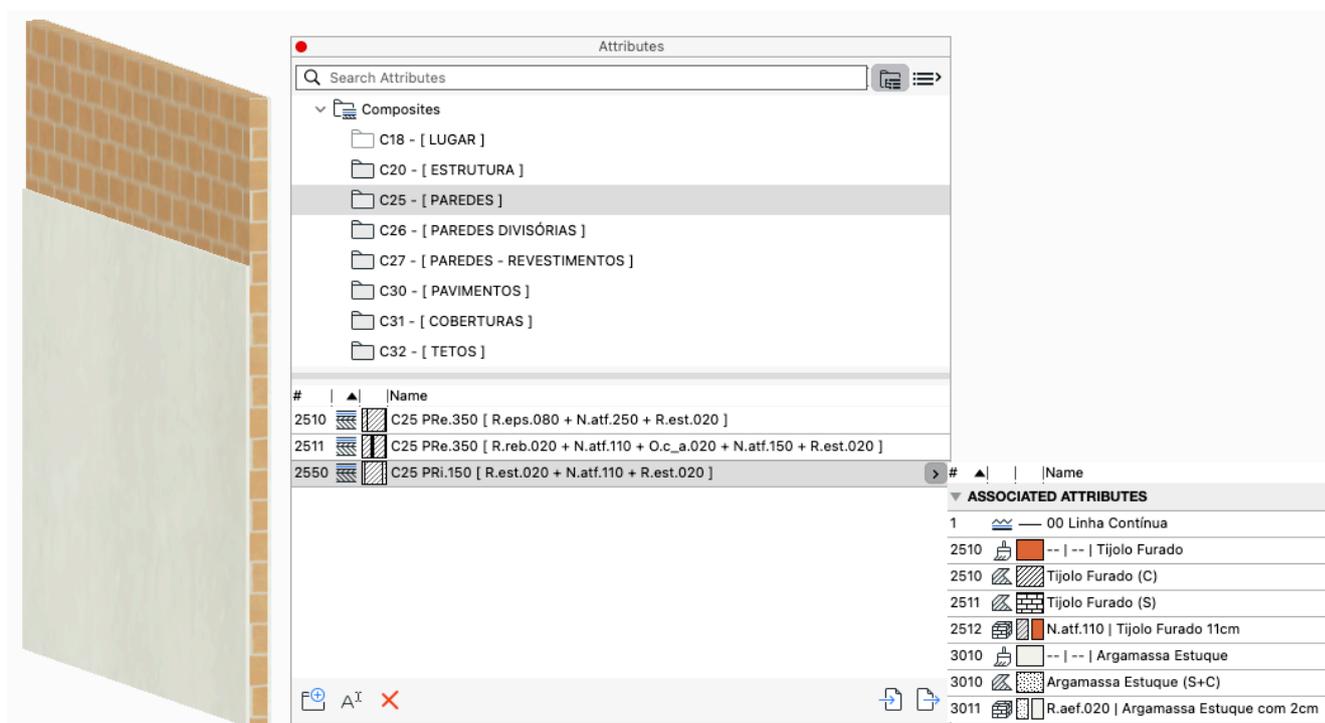
**Figura 3**  
Importação de atributos entre ficheiros de Archicad.

Uma configuração importante para um *template* passa por ter uma estrutura de atributos de materiais de construção ou outros associados. Na Figura 4, temos um exemplo de uma estrutura, expressa em materiais de construção, superfícies e tramas, organizada por capítulos associados à função que desempenham. Os elementos de arquitetura, estão divididos por materiais de núcleo (#2500), isolamentos (#2700), revestimentos (#3000) e acabamentos (#3600). Os identificadores únicos de cada atributo estão contidos num intervalo, permitindo o desenvolvimento de bibliotecas sem sobreposição de ID em múltiplos projetos.

Building Materials			Surfaces			Fills		
#		Name		#	Name	#		Name
1500	<input type="checkbox"/>	[ PREPARAÇÃO E LUGAR ]	<input type="checkbox"/>	1500	----- [ PREPARAÇÃO E LUGAR ]	✓ 1500	<input type="checkbox"/>	[ PREPARAÇÃO E LUGAR ]
2000	<input type="checkbox"/>	[ ESTRUTURA ]	<input type="checkbox"/>	2000	----- [ ESTRUTURA ]	✓ 2000	<input type="checkbox"/>	[ ESTRUTURA ]
✓ 2500	<input type="checkbox"/>	[ MATERIAIS DO NÚCLEO ]	<input type="checkbox"/>	2500	----- [ MATERIAIS DO NÚCLEO ]	✓ 2500	<input type="checkbox"/>	[ MATERIAIS DO NÚCLEO ]
2700	<input type="checkbox"/>	[ ISOLAMENTOS E MEMBRANAS ]	<input type="checkbox"/>	2700	----- [ ISOLAMENTOS E MEMBRANAS ]	2700	<input type="checkbox"/>	[ ISOLAMENTOS E MEMBRANAS ]
3000	<input type="checkbox"/>	[ REVESTIMENTOS E CAMADAS ]	<input type="checkbox"/>	3000	----- [ REVESTIMENTOS E CAMADAS ]	✓ 3000	<input type="checkbox"/>	[ REVESTIMENTOS E CAMADAS ]
3600	<input type="checkbox"/>	[ ACABAMENTOS ]	<input type="checkbox"/>	3600	----- [ ACABAMENTOS ]	✓ 3600	<input type="checkbox"/>	[ ACABAMENTOS ]
4400	<input type="checkbox"/>	[ ESPECIALIDADES (NÃO MEDIDO) ]	<input type="checkbox"/>	4500	----- [ ESPECIALIDADES ]	✓ 9500	<input type="checkbox"/>	[ OUTROS (ENVOLVENTE) ]
✓ 9500	<input type="checkbox"/>	[ OUTROS (ENVOLVENTE NÃO MEDIDO) ]	<input type="checkbox"/>	9500	----- [ OUTROS (ENVOLVENTE) ]			

Na Figura 5, podemos verificar um exemplo prático dessa estrutura de atributos numa parede composta por estuque e tijolo furado. Nesta, todos os atributos (materiais de construção, superfícies, tramas de corte e tramas de vista) com um ID que se inicia em “#25” correspondem a material de núcleo (tijolo furado), enquanto os que se iniciam em “#30” correspondem a revestimento (argamassa de estuque).

**Figura 4**  
Exemplo de estrutura de atributos de materiais de construção, superfícies e tramas.



### 3.3. Configuração de Classificações e Propriedades

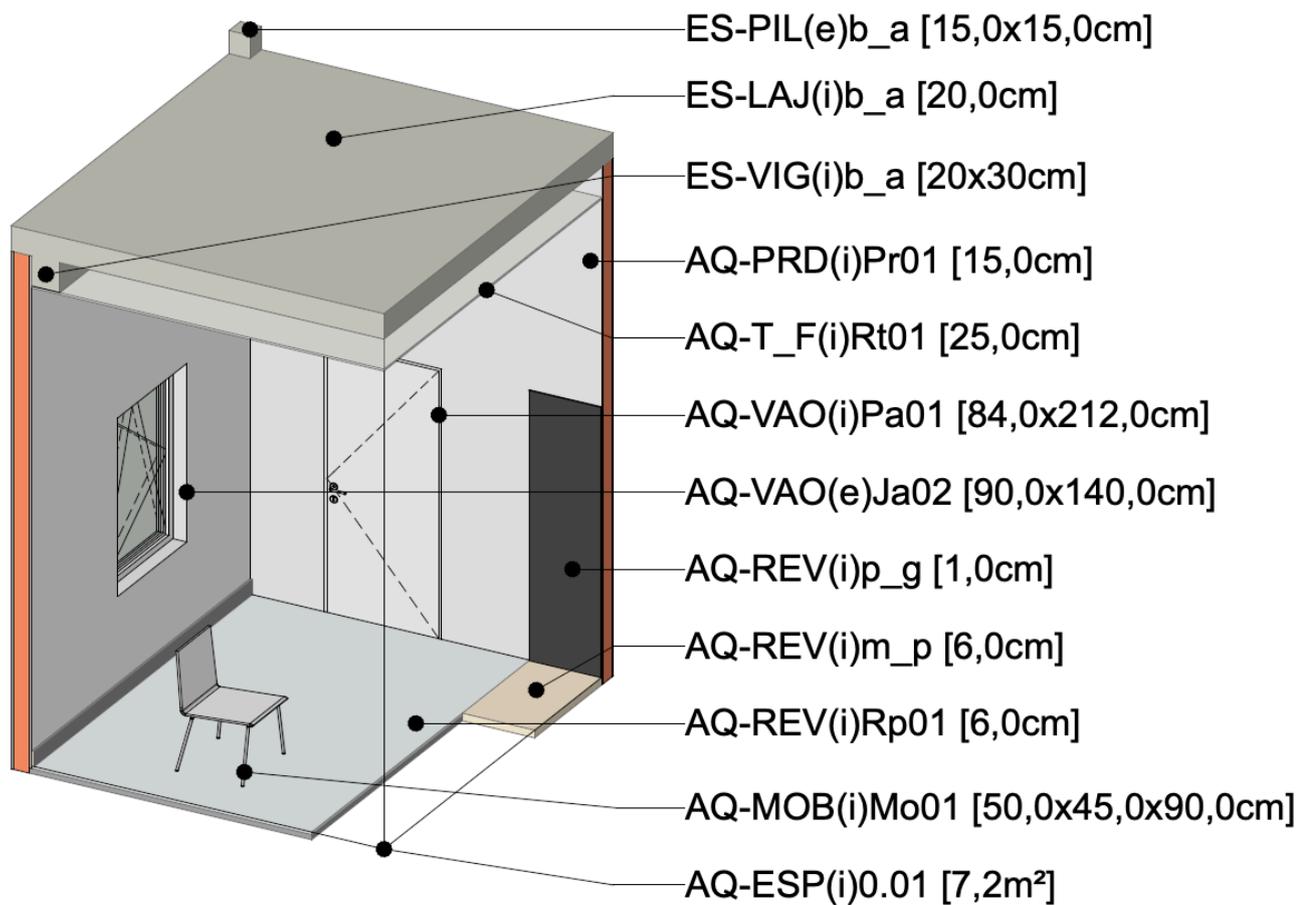
Todos os projetos devem conter um plano de execução BIM que, entre outros assuntos, deve referir os requisitos de informação a entregar com o modelo BIM. Essa informação é definida nas propriedades, atribuídas aos elementos através das respetivas classificações. Desta forma, podemos definir informação específica, como por exemplo ferragens de vãos, apenas disponível para elementos da classificação “vãos”.

Neste sentido, podemos criar no *template* propriedades pré-definidas para conjuntos de elementos. Na Figura 6, temos exemplos de uma propriedade síntese pré-definida

**Figura 5**  
Exemplo de gestão de atributos.

num *template*. Trata-se duma propriedade aplicável a todos os elementos que junta informação de múltiplas propriedades desse elemento, nomeadamente: especialidade, família de elemento, posição, tipo, e dimensão de referência. Esta última pode ser: área (aplicável em espaços), espessura (aplicável em elementos compostos, como lajes e paredes), largura e altura (aplicáveis em vãos), comprimento, largura e altura (aplicáveis a elementos como mobiliário).

A propriedade síntese é passível de ser incorporada na exportação do modelo em formato IFC, bastando para isso estar pré-definida nas configurações de exportação.



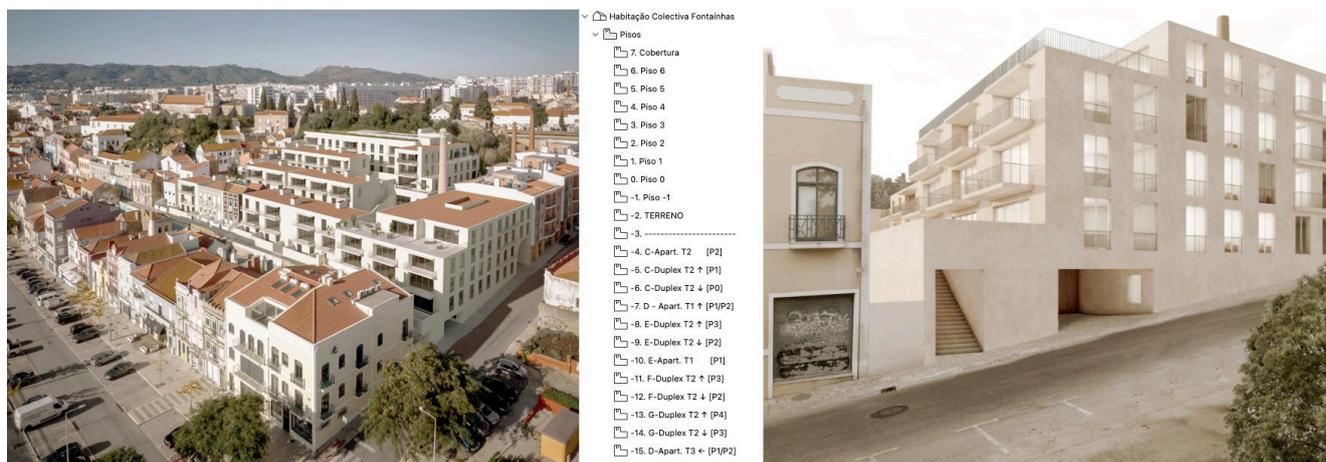
**Figura 6**  
Propriedade síntese por elemento construtivo.

### 3.4. Organização do modelo e documentação

A estrutura de organização do modelo e documentação difere entre projetos e deve ser incluída no *template*. De seguida, mostramos dois exemplos onde optámos por metodologias distintas, aplicados aos projetos de SAMI – arquitetos e Rebelo de Andrade – arquitetos, para quem desenvolvemos consultoria BIM.

No primeiro exemplo (Figura 7), o modelo BIM tinha uma estrutura convencional em pisos. Os sete edifícios foram modelados num único ficheiro, por pisos de referência, por forma a termos em todos os edifícios em simultâneo uma gestão global de

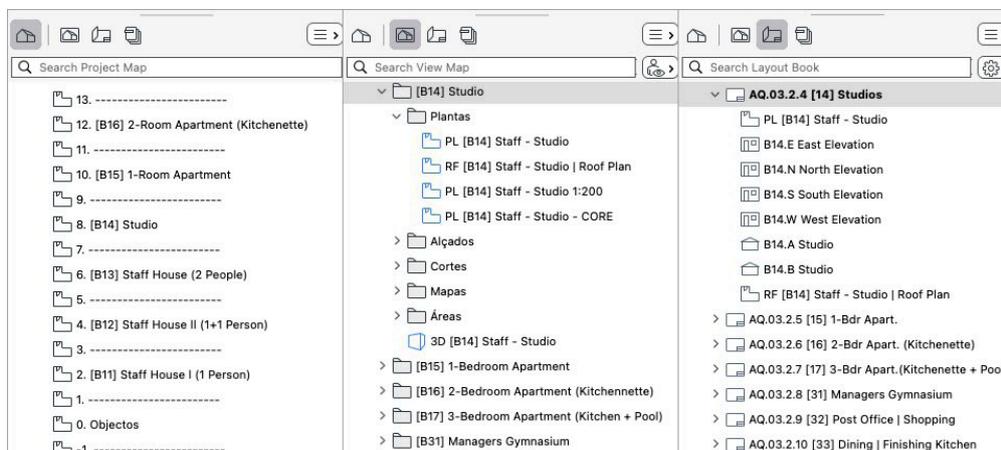
atributos e elementos tipo no projeto (paredes, vãos, escadas, guardas, etc.). Considerando a existência de apartamentos tipo, foram também criados módulos através de uma metodologia denominada “iceberg” [02]. Desta forma, os apartamentos tipo foram desenvolvidos em pisos extra, abaixo do terreno, e posteriormente inseridos no mesmo ficheiro.



Tendo em conta a dimensão do projeto, optou-se por organizar toda a documentação de desenho para entrega num ficheiro externo, com benefício de cerca de 30% no tamanho do ficheiro.

**Figura 7**  
Organização do modelo em projeto de SAMI – Arquitectos.

No segundo exemplo (Figura 8), o projeto tinha mais de trinta edifícios. Todos os edifícios tinham características comuns, o que motivou também a necessidade de estarem modelados num único ficheiro de tipologias. Neste caso, optou-se por organizar o modelo BIM em pisos dedicados a cada edifício, que se encontram sobrepostos. Por outro lado, foram criados pisos intermédios para permitir o controlo de plantas de cobertura. Esta opção originou cerca de 60 pisos no modelo, apesar de cada edifício ter apenas um piso, como pode ser visto na coluna 1 da Figura 8.



**Figura 8**  
Organização do modelo em projeto de Rebelo de Andrade, Arquitectos.

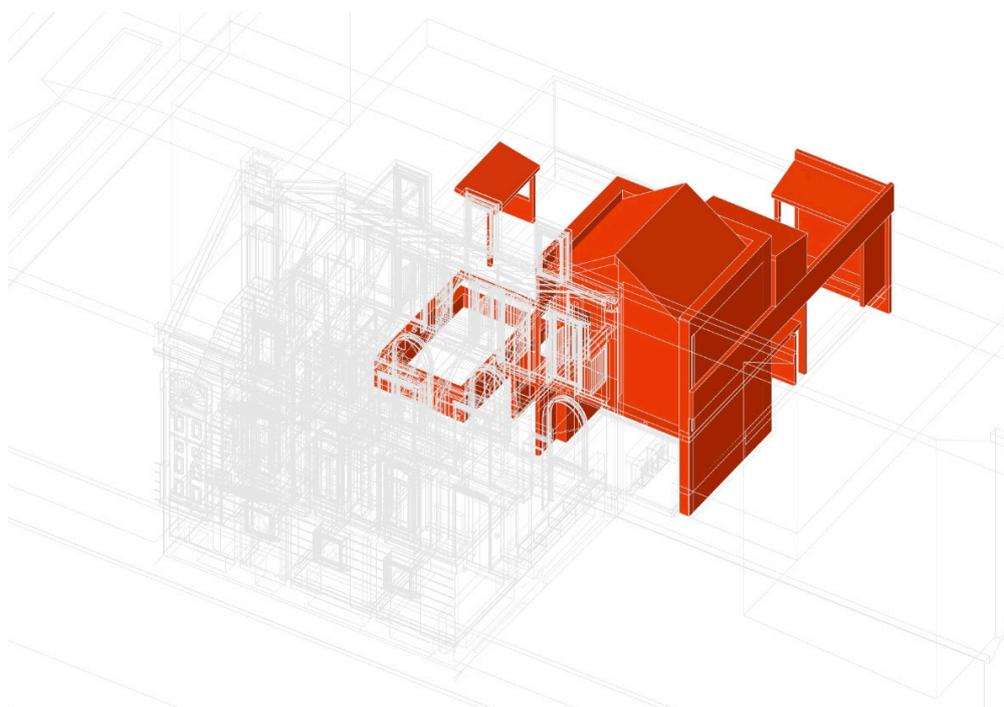
O mapa de vistas (coluna 2 da Figura 8) é o local onde se deve desenvolver todo o projeto. Neste exemplo, a estrutura de trabalho estava organizada em pastas independentes por edifício. Cada pasta incluía toda a informação exclusiva ao edifício, como plantas, cortes, alçados, mapas ou vistas 3D. Esta estrutura permitiu o desenvolvimento de cada edifício de forma independente pelos membros da equipa projetista, com acesso a um conjunto de vistas específicas do respetivo edifício. A estrutura das peças desenhadas é uma réplica do mapa de vistas, havendo coerência na estrutura organizacional (coluna 3 da Figura 8). Neste exemplo, todos os desenhos de documentação são internos ao ficheiro de tipologias.

Todos os edifícios foram posteriormente importados como módulos para um ficheiro com a implantação de todas as tipologias. Por existirem tipologias repetidas, a quantificação foi gerada neste ficheiro.

#### 4. Controlo de qualidade no modelo BIM

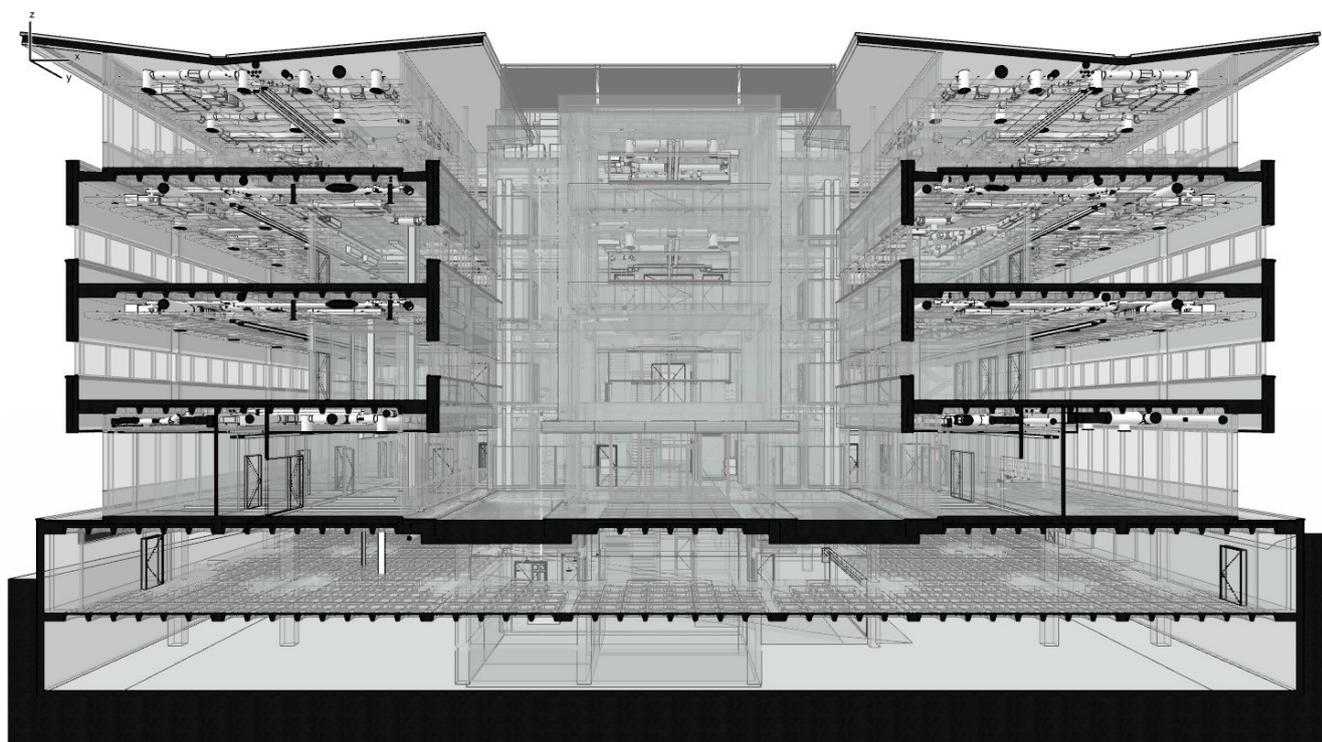
O sucesso do *template* está também associado ao controlo de qualidade do modelo. Deve ser considerado no *template* a criação de um capítulo para controlo de qualidade, onde podemos em qualquer fase do processo confirmar classificações e propriedades de elementos específicos do modelo. Esse controlo pode ser feito com auxílio de sobreposição gráfica em peças desenhadas (2D) ou em perspetivas (3D).

Na Figura 9, podemos ver uma aplicação prática de controlo de qualidade com sobreposição gráfica associada a artigos do caderno de encargos.



## 5. Interoperabilidade BIM

Em complemento ao controlo de qualidade, deve ser considerada no *template* a criação de um capítulo para interoperabilidade com as várias equipas envolvidas no projeto. Neste capítulo, devem ser previstas pastas dedicadas à comunicação com as diversas especialidades, nomeadamente de peças desenhadas e IFC. Além disso, podemos neste capítulo guardar vistas específicas de controlo de colisão entre modelos das diferentes especialidades. Na Figura 10, podemos ver a interoperabilidade das várias especialidades num projeto de Pedra Silva, Arquitetos.



## 6. Quantificação BIM

Uma das grandes vantagens da modelação em BIM é a possibilidade de se conseguir quantificar todos os elementos construtivos do projeto. Com a definição de um *template* adequado e o respetivo controlo de qualidade, conseguimos garantir a quantificação de qualquer elemento do projeto. A Figura 11 ilustra a possibilidade de incluir no *template* a estimativa de valor por cada artigo de mapa de quantidades. Neste exemplo, foi criada a propriedade “Medição” que vai colocar a quantidade consoante a “Unidade de medição” escolhida. Deste modo, podemos quantificar elementos dum artigo em *m3* (volume do elemento); *m2* (área); *ml* (comprimento); ou *un* (unidade).

Por outro lado, foi criada outra propriedade que multiplica “Medição” por “Preço Unitário”. Desta forma, conseguimos ter uma estimativa de custo durante a fase de desenvolvimento de projeto.

**Figura 10**  
Exemplo de interoperabilidade em projeto de Pedra Silva, Arquitetos.

Mapa de Quantidades	Altura [m]	Espessura [m]	Medição	Unidade	Preço unitário	Preço	Classificação
04.6 Paredes Divisórias Gesso Cartonado							
	3,00	0,10	0,75	m3	25,00	18,75	Divisória de Gesso
	3,00	0,10	10,79	m2		269,69	Divisória de Gesso
	3,00	0,10	3,30	ml		82,45	Divisória de Gesso
			<b>11,73</b>			<b>293,30</b>	

**Figura 11**  
Exemplo de  
quantificação de artigo.

## 7. Evolução do *template*

Como a metodologia BIM está em constante evolução, é expectável que no decorrer de um projeto hajam novas configurações úteis para o futuro. Nesse sentido, é importante que no fim de cada projeto, o gestor BIM avalie as necessidades que não foram contempladas no *template* base, por forma a evoluir o *template* para projetos futuros.

## 8. Conclusão

Este artigo mostra as vantagens da configuração de um *template* antes de se iniciar a modelação BIM, através da definição de atributos, de classificações e de propriedades, que devem ser uniformes entre projetos. Contudo, a organização do modelo BIM e a respetiva documentação devem ser avaliadas e adaptadas ao tipo e à escala de cada projeto. Num projeto de grande escala, devemos primeiro analisar a dimensão da modelação e da informação, por forma a decidir se o mesmo deve ser repartido por vários ficheiros ou módulos. Se se optar por ter toda a modelação num ficheiro único, a sugestão é organizar toda a documentação de desenho para entrega num ficheiro externo, com benefício de cerca de 30% no tamanho do ficheiro. No caso de se optar por dividir em ficheiros distintos, será necessário encontrar um método para garantir o controlo dos atributos globais do projeto, que pode passar pela criação de um ficheiro de atributos.

## Referências

- [1] GRAPHISOFT Customer Success Department, “Archicad Template Creation”, Budapeste, Hungria, 2020.
- [2] T. Breton, T. Szolnoki, C. Chidambaram, A. M. Coulthard, E. Brown, and G. Radonić, “Hotlink Management”, Graphisoft Workflow Guide Series, Budapeste, Hungria, 2018.

# Metodologia BIM – Implementação e desenvolvimento na Openbook

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.4>

Mónica Santos<sup>1</sup>, Madalena Mariz<sup>1</sup>,  
Sébastien Roux<sup>2</sup>, Joana França<sup>1</sup>,  
Frederico Pinto Leite<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Openbook, Lisboa

<sup>2</sup> Limsen, Lisboa

## Resumo

O artigo a apresentar tem por objetivo dar a conhecer a aplicação da metodologia BIM em contexto de desenvolvimento de projeto de arquitetura a partir do processo de trabalho da Openbook. A empresa foi constituída em 2007 e desde a sua fundação que recorre à metodologia BIM, usando software de autoria BIM para todos os projetos, mesmo nas situações em que o cliente não impõe esse requisito. Após a crise de 2008, aquando da retoma económica do país a partir de 2013, a empresa passou por uma fase de grande crescimento. Toda a equipa trabalhava em Revit, mas o crescimento verificado venceu a necessidade de standardizar os métodos de trabalho. A empresa conta hoje com uma equipa de 50 arquitetos, todos a trabalhar em BIM. O grau de implementação da metodologia progrediu num crescendo a diversos níveis por motivação interna e apoiada por um consultor externo (Limsen). Será feita uma apresentação dos principais usos BIM e da sua contribuição para a qualidade e transparência dos processos, satisfação dos diversos *stakeholders*, bem como dos elementos adotados para alavancar a implementação incremental da metodologia. Entre as ferramentas utilizadas, constam o Revit como principal plataforma de modelação e extração de desenhos, o Enscape para concretizar com melhor qualidade e dinamismo a visualização, o Sharepoint para armazenamento e como elemento de articulação de informação específica entre diferentes aplicações, o Navisworks para medição e deteção de colisões, o Autodesk Construction Cloud como *Common Data Environment* e finalmente serão mencionados alguns add-ins (i.e. DiRoots, Kinship).

## 1. Introdução

O presente artigo descreve a aplicação da metodologia BIM na empresa Openbook, sinaliza o carácter gradual com que as diversas dimensões que a constituem foram implementadas e refere as suas principais vantagens.

A empresa foi fundada em 2007. Após um vasto estudo de mercado dos vários software disponíveis, a escolha recaiu sobre o Revit. Desde a fundação da empresa, todo o trabalho foi sempre desenvolvido nesta ferramenta. Neste arranque não existia ainda toda a informação online sobre Revit e pouco ainda se falava sobre BIM. A empresa recorreu a formadores externos para implementar o software e foi desenvolvendo capacidades de modelação dentro da sua recente equipa de arquitetos. Com a crise de 2008, que se fez sentir com mais intensidade em Portugal a partir de 2010, a equipa ficou reduzida e perdeu-se conhecimento.

Em 2018, após uma fase de grande crescimento da equipa, a empresa sentiu a necessidade de uniformizar o processo de trabalho. Apesar de toda a equipa se ter mantido a trabalhar em Revit, algum do conhecimento inicial foi se perdendo. À medida que o numero de colaboradores foi crescendo a seguir à crise, cada equipa foi desenvolvendo o seu próprio método de trabalho. Adicionalmente, toda a equipa já tinha capacidades de modelação, mas sem conhecimento de metodologia BIM. Perante este cenário, a direção da empresa sentiu a necessidade de recorrer a uma consultora BIM externa para ajudar a uniformizar os processos.

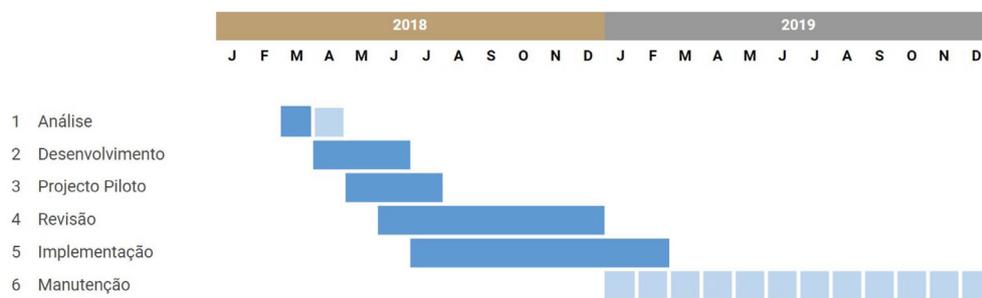
## 2. Plano de implementação

Perante os desafios mencionados acima, a consultora BIM planeou para o prazo de um ano as tarefas da seguinte forma:

- Análise – fase com duração de um mês; recolha dos processos existentes na empresa e preparação de um relatório com os pontos fortes e fragilidades; o plano de implementação foi desenvolvido a partir das conclusões deste relatório;
- Fase de Desenvolvimento – criação de *templates*, *standards* e documentação; esta fase teve uma duração inicial de três meses, no entanto este é um processo sempre em curso e a documentação e templates são revistos anualmente;
- Projeto Piloto – os templates e standards são testados num ou vários projetos em simultâneo durante quatro meses;
- Revisão – em função da experiência nos projetos piloto, os standards e templates são ajustados à realidade da empresa ao longo de sete meses;
- Implementação – em simultâneo com a revisão dos standards e templates arranca a fase de implementação em todos os novos processos;
- Manutenção – para assegurar uma implementação duradoura do novo método de trabalho, foi previsto um prazo de manutenção de um ano para assegurar o acompanhamento da equipa durante a fase de transição.

As tarefas acima descritas tinham prevista uma sobreposição temporal que permitia, por exemplo que assim que parte do desenvolvimento estivesse pronto, se pudesse avançar com o Projeto Piloto, conforme ilustrado na Figura 1.

## Faseamento



**Figura 1**  
Faseamento da implementação.

## 2.1. Usos BIM

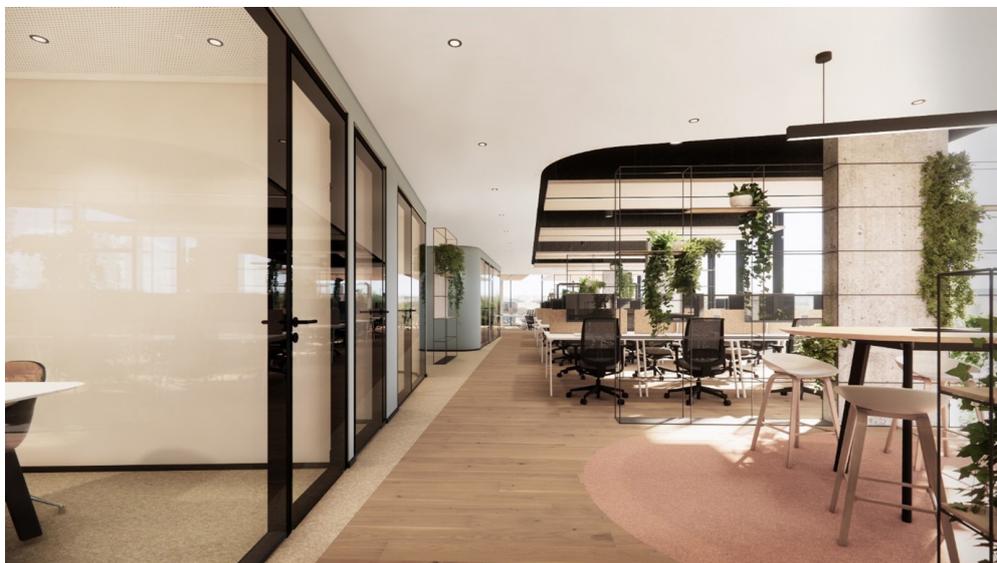
Um dos aspetos mais importantes no início desta implementação foi definir o propósito do BIM na empresa. Os modelos podem ser usados para diversos fins e cada um desses usos acresce o tempo de produção e de projeto que é geralmente curto. Foi importante definir para que iriam servir os modelos. Para tal, surgiu então a necessidade de separar os projetos em dois tipos:

- Projetos em que o BIM é um requisito do cliente e em que está assegurado que todas as equipas trabalham em BIM;
- Projetos em que o BIM é usado para consumo próprio.

Para os projetos que não tivessem requisitos por parte dos clientes foram delineados os seguintes usos BIM:

- Produção de peças desenhadas – este uso já era uma realidade dentro da empresa, no entanto a implementação veio melhorar o grafismo e a produtividade; o template passou a ter vistas preparadas para se produzir peças desenhadas padronizadas sempre com o mesmo aspeto gráfico
- Medições – até à data, apesar do trabalho ser todo desenvolvido em Revit, eram enviadas peças desenhadas para um medidor orçamentista; foi desenvolvida uma metodologia de modelação própria para assegurar quantidades fiáveis e um processo de medição eficaz em Navisworks que permitisse que o projeto e o controlo das quantidades acontecessem em simultâneo no final do projeto de execução
- Visualização – até 2018, os renders eram produzidos pela equipa interna de visualização em 3Dmax e por vezes eram usadas imagens de trabalho produzidas pelo motor do Revit; a introdução do Enscape em 2018 na empresa veio revolucionar a forma como os projetos passaram a ser apresentados aos clientes, conforme ilustrado na figura 2; começou a ser possível mostrar os

edifícios em realidade virtual desde o conceito até à execução. O Enscape tem, por isso, sido usado também como ferramenta de projecto, nomeadamente para validação das opções de projecto e para inspeção visual ao nível da coordenação de especialidades.



**Figura 2**

Visualização de Projeto de Execução em realidade virtual com recurso ao Enscape.

Para projetos com requisitos BIM do Dono de Obra em que todas as especialidades colaborassem num ambiente BIM:

- Coordenação 3D: sempre que houvesse requisitos BIM por parte de um cliente, o *Clash Detection* era adicionado à lista de usos BIM acima mencionada
- Qualquer outro uso BIM deveria fazer parte dos *Exchange Information Requirements* ou então seria negociado após assinatura do contrato

Até 2019, menos de 10% dos projetos que entravam na empresa tinham requisitos BIM por parte do Dono de Obra. A partir de 2020, cerca de 30% dos projetos passaram a ser desenvolvidos em ambiente colaborativo BIM. No entanto, nem sempre são claros os requisitos BIM e por isso é tão importante a gestão de expectativas associada aos usos BIM que foram definidos durante a implementação, conforme referido no capítulo 2.1 Usos BIM.

## 2.2. Standards e template

Para permitir que qualquer pessoa que entrasse no escritório se adaptasse sem grande dificuldade ao método de trabalho que foi introduzido durante a implementação foi desenvolvido um guia de boas práticas e um template Revit correspondente. O objetivo foi de reduzir o tempo desperdiçado a corrigir problemas gráficos e permitir produzir qualquer tipo de peça desenhada sem esforço adicional. (ver figura 3 exemplo dos *standards* gráficos incluídos no *template*).

Foi igualmente desenvolvido um sistema de nomenclatura de ficheiros aplicável a todos os ficheiros de projeto, fossem modelos ou peças desenhadas, baseado no

documento “UK BIM Framework” [1] e no “Uniform Drawing Standard” do “United States National CAD Standard” [2]. Mais tarde esta nomenclatura foi atualizada para o anexo britânico da ISO 19650-2 [4].

Para iniciar as novas contratações, um plano de formação de uma semana foi delineado. Todos os novos elementos eram iniciados aos padrões da empresa e recebiam uma formação inicial de Revit. Ao fim dessa semana eram integrados numa equipa de trabalho e as suas responsabilidades de modelação iam crescendo progressivamente.

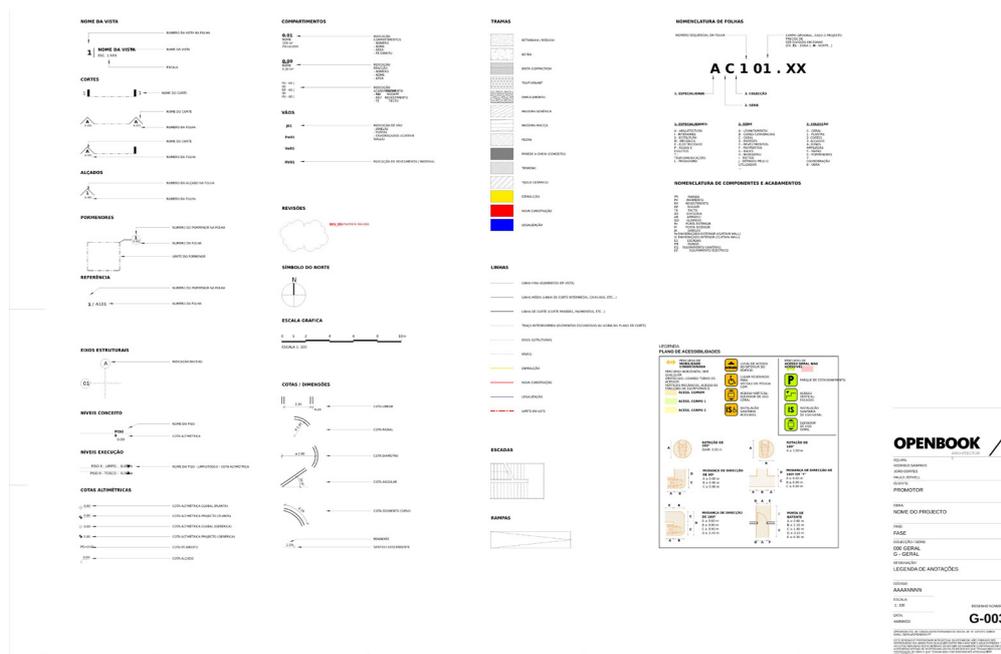


Figura 3  
Legenda de anotações  
do template Revit.

### 2.3. Balanço da implementação

Passados dois anos do início da implementação, toda a equipa já trabalhava de maneira uniforme com base nos templates e standards desenvolvidos. Esta mudança foi acontecendo de forma faseada, equipa a equipa, com um acompanhamento regular por parte da consultora BIM. De forma faseada, igualmente, os projetos começaram todos a ser medidos a partir dos modelos, gerando uma maior eficiência na gestão de quantidades. Este último aspeto levou a uma mudança radical na forma de produzir os modelos. Inicialmente esta mudança era vista como um acréscimo de tempo. Aos poucos a integração da informação nos modelos levou a uma redução de custo e de tempo.

## 3. Desafios atuais e futuros

De 2018 até a 2022, o serviço de BIM Management da empresa foi assegurado sempre por uma consultora externa. A implementação inicial de 1 ano de desenvolvimento, mais um ano de manutenção, transformou-se numa avença mensal que foi reduzindo de forma progressiva. Este serviço de gestão BIM, incluía:

- Apoio técnico;
- Inovação;
- Formação;
- Atualização de standards e *templates*.

A partir de 2022 iniciou-se a transição das funções do BIM Manager para um membro da equipa. Devido ao crescimento da empresa, em 2023 integrou-se um BIM Manager adicional para assegurar a redundância do cargo em caso de ausência, assim como para responder às exigências cada vez maiores duma equipa de 60 arquitetos. A equipa de consultoria manteve-se com uma afetação horária menor e com a missão de continuar a inovar. Uma vez por semana a gestão BIM da Openbook e a equipa de consultoria reúnem-se para discutir os desafios a curto e médio prazo. Uma vez por ano a equipa BIM completa reúne-se com a direção para discutir a estratégia a longo prazo. Em seguida descrevemos alguns dos desafios atuais e futuros

### 3.1. Aplicação interna dos padrões ISO

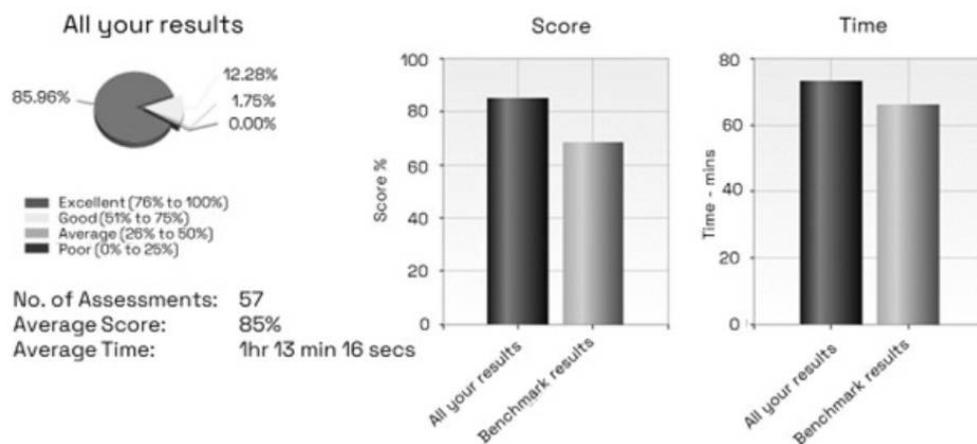
Com a constante evolução do BIM, é necessário rever regularmente os processos e adaptá-los sempre que possível às melhores práticas internacionais. Os standards desenvolvidos em 2018 foram revistos para se adaptarem às partes 1 e 2 da ISO 19650 [3] [4] e permitirem concorrer a projetos fora de Portugal.

### 3.2. Certificação

A partir de 2020 a empresa começou a certificar a sua equipa e a validar o conhecimento da mesma. Para tal recorreu aos seguintes meios:

- KnowledgeSmart – esta plataforma online permite testar de forma regular os conhecimentos da equipa em diversos software e identificar os pontos fracos da equipa em termos de formação; permite igualmente perceber qual o nível médio da equipa relativamente a outros gabinetes de arquitetura e engenharia que também utilizem esta ferramenta;
- Autodesk Certified Professional – os testes KnowledgeSmart ocorrem de seis em seis meses; os cinco melhor classificados são propostos para o exame da Autodesk Certified Professional; em 2022, 30% da equipa já tinha esta certificação.

A médio prazo, o plano é certificar alguns colaboradores pela BuildingSmart e a longo prazo, certificar a empresa na ISO 19650 através do BSI ou BRE (ainda não existe certificação a nível nacional).



**Figura 4**  
 Benchmarking da  
 equipa em 2022, Fonte  
 KnowledgeSmart.

### 3.3. Formação a novos membros e contínua

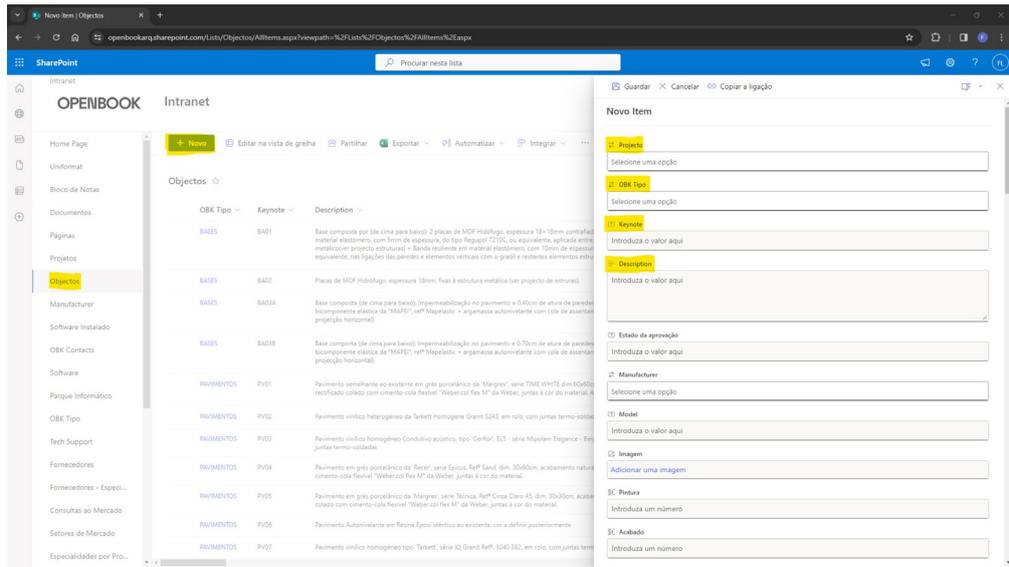
O processo de integração de novos colaboradores contempla um tempo de formação intensiva de software e ferramentas de apoio ao projeto para dotar cada arquiteto das competências base, favorecer a assimilação de procedimentos e facilitar a adaptação ao método de trabalho e à organização internos. Para tal foi desenvolvido ao longo dos anos um plano de formação de uma semana que junta competências de arquitetura com conhecimentos de modelação. Cada novo colaborador na sua primeira semana recebe formação durante a manhã e exercícios durante a tarde para estar melhor preparado para integrar uma equipa de projeto.

### 3.4. Inovação e produtividade

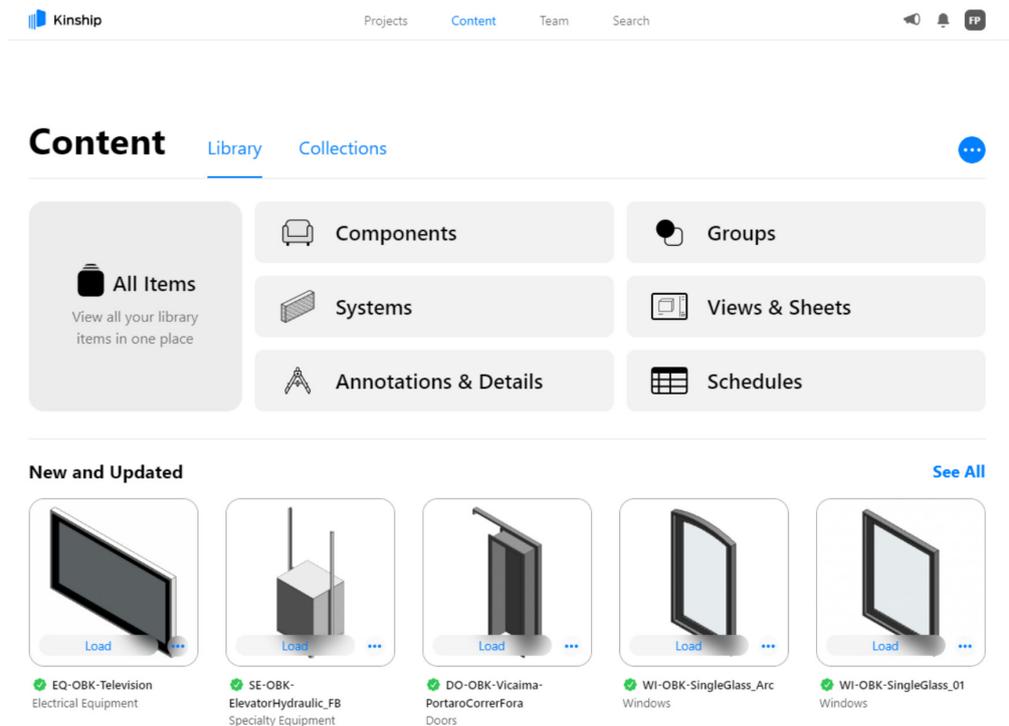
Por forma a aumentar sempre mais a produtividade, a equipa recorre a diversas aplicações existentes ou desenvolvidas à medida (entre as quais o já referido Enscape, o Diroots, etc). Iremos destacar as ferramentas seguintes:

- Keynote Synchronizer – este plugin para o Revit foi desenvolvido ao abrigo de um financiamento europeu o “Metabuilding Innovation Seed”. Esta aplicação liga qualquer material ou equipamento referenciado num projeto à base de dados Sharepoint da empresa (Sharepoint List). As especificações inseridas na base de dados migram automaticamente para dentro do Revit através das referências de Keynote dos objetos BIM;

**Figura 5**  
Interface de preenchimento em base de dados do Sharepoint com ligação ao Revit através de plugin desenvolvido à medida.



- Sharepoint Synchronizer – Esta aplicação também desenvolvida ao abrigo do Metabuilding, complementa a anterior preenchendo toda a informação da base de dados em parâmetros correspondentes no Revit; isto permite que equipas de apoio que não tenham conhecimento de ferramentas de modelação ajudem com as especificações que podem ser alimentadas nos modelos;
- Kinship – Ferramenta existente no mercado; esta aplicação baseada na cloud permite fazer uma gestão das bibliotecas de famílias, *view templates*: o seu motor de pesquisa otimizado e a gestão dos *thumbnails* permite encontrar e carregar diretamente na aplicação de modelação as famílias necessárias.



**Figura 6**  
Interface do Kinship.

Recentemente foi lançado o desafio de perceber se já existe no mercado alguma ferramenta de Inteligência Artificial com um grau de maturidade suficiente para aumentar o nível de produtividade da equipa. O uso generalizado do Revit dentro da empresa foi durante muitos anos um fator diferenciador perante a concorrência, no entanto neste momento já a grande maioria dos gabinetes de arquitetura utiliza uma plataforma de modelação, seja Revit, Archicad ou outro software. Algumas ferramentas mais promissoras tais como o Autodesk Forma já começam a ser utilizadas pela equipa, mas ainda não foi identificado nenhum novo software disruptivo como foram as primeiras aplicações de modelação BIM.

## 4. Conclusão

O objetivo deste artigo foi dar a conhecer os desafios de uma equipa de arquitetura / projeto para manter a componente tecnológica sempre em dia. Apesar desta empresa ter começado a usar exclusivamente software de autoria BIM desde a sua génese os desafios foram muitos desde 2008:

- Dificuldade de uniformizar processos;
- Custo de software – cada licença Autodesk AEC Collection custa cerca de 3000 euros por ano por utilizador; numa equipa de 50 arquitectos, este custo é significativo;
- Custos de consultoria e formação – uma empresa que queira manter o seu nível de conhecimento constantemente atualizado, deverá ter em consideração custos de todo o tipo de consultorias, desde as ferramentas de produção, até a ferramentas de gestão;
- Retenção de talento – a mão de obra com competências BIM é escassa no mercado nacional e tem muita procura; qualquer colaborador que entre na empresa terá formação e prática avançada de Revit, que será muito apetecível para a concorrência;
- Custo de cargos de BIM Management – este papel é transversal na equipa, no entanto o seu custo não é necessariamente imputado aos projetos.

Perante todos estes desafios e custos o que leva a direção de uma empresa a apostar neste caminho? As mais valias são evidentes para a gestão e o tempo e as exigências BIM cada vez mais comuns por parte dos donos de obra deram provas que a estratégia foi acertada. Em contraponto com os custos do BIM, também existe a poupança conseguida pela redução de erros de projeto, a redução do custo das medições devido a um processo otimizado, a redução dos custos de renderização.

## Referências

- [1] UK BIM Framework, standards, guidance and resources, <https://www.ukbimframework.org/>
- [2] Uniform Drawing Standard, United States National CAD Standard®, <https://www.nationalcadstandard.org/ncs6/content.php>
- [3] International Organization for Standardization (ISO), ISO 19650-1 "Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling, Part 1: Concepts and principles, BSI Standards Limited, 2018, p. 1.
- [4] International Organization for Standardization (ISO), ISO 19650-2 "Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling , Part 2: Delivery phase of the assets, BSI Standards Limited, 2018.

# Enriquecimento semântico em HBIM: Estudo de caso na Igreja da Ordem Primeira do Carmo em Cachoeira

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.5>

**Bruna Costa<sup>1</sup>, João Marcelo Adães<sup>2</sup>,  
Natalie Groetelaars<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Universidade Federal da Bahia, Salvador, 0000-0001-9935-8923*

<sup>2</sup> *Universidade Federal da Bahia, Salvador, 0009-0004-9703-9936*

<sup>3</sup> *Universidade Federal da Bahia, Salvador, 0000-0001-6353-0509*

## Resumo

Comumente associado a edificações contemporâneas, o BIM pode ser usado também na área da preservação do patrimônio arquitetônico. A essa aplicação, dá-se o nome de *Heritage Building Information Modeling* (HBIM), que apresenta questões em aberto no que se refere ao enriquecimento semântico. O artigo objetiva desenvolver um método para registo de informações semânticas do patrimônio com uso do HBIM. A edificação escolhida foi a Igreja da Ordem Primeira de Nossa Senhora do Carmo, em Cachoeira. O trabalho envolveu o levantamento cadastral com fotogrametria aérea digital, a criação de nuvem de pontos e a modelagem HBIM da fachada, com auxílio de ferramentas para extração, alimentação e atualização bidirecional de informações semânticas das famílias paramétricas. As informações sobre a igreja e o conjunto arquitetônico foram coletadas na literatura disponibilizada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), e o processo de enriquecimento semântico em HBIM fundamentou-se nas normas ISO 19650, BS EN ISO 17412-1 e no conceito de *Level of Information Need* (LOIN). Como resultado, apresenta-se o processo utilizado para modelagem da fachada, que inclui o enriquecimento semântico, a visualização e edição das informações em uma base de dados externa.

## 1. Introdução

O presente artigo visa apresentar um método desenvolvido para registro de informações semânticas associadas a um modelo BIM (*Building Information Modeling*) com aplicação específica ao patrimônio edificado. Para subsidiar essa proposição, foi necessária a realização de diversas etapas: revisão de literatura seguida de experimentação prática, que incluiu a captura de dados em campo por meio da fotogrametria digital aérea, a modelagem BIM e o enriquecimento semântico do modelo, de modo a permitir a visualização e edição das informações em uma base de dados externa da Igreja da Ordem Primeira de Nossa Senhora do Carmo, em Cachoeira. Via de regra, é possível caracterizar o processo de modelagem BIM como complexo e, por isso, existe um alto custo associado às construções digitais. No caso de edifícios históricos, percebe-se que a modelagem é ainda mais demorada devido ao alto nível de informação geométrica e, conseqüentemente, maior investimento é demandado. Uma alternativa que vem sendo citada na literatura para essa situação é o enriquecimento semântico do modelo [1,2], de modo a oferecer uma compreensão mais aprofundada sobre o objeto.

## 2. Fundamentação teórica

Nesta seção são descritos os objetos de estudo que baseiam o presente artigo: os conceitos *Heritage Building Informations Modeling* (HBIM) e *Damage Information Modeling* (DIM), questões sobre o enriquecimento semântico do modelo BIM e as normas ISO 19650 e BS EN ISO 17412-1.

### 2.1. Heritage Building Information Modeling

O BIM corresponde à “tecnologia de modelagem associada a um conjunto de processos para construir, compartilhar e analisar modelos de construção” [3]. Esses modelos contêm informações sobre cada componente da construção, incluindo geometria, características físicas, propriedades funcionais e relações espaciais. Além da representação visual, esses modelos incorporam dados que podem ser usados durante o ciclo de vida de uma edificação, desde a concepção inicial até a demolição. Apesar da ampliação considerável dos usos do BIM nos últimos anos, suas principais utilizações concentram-se nas primeiras fases do ciclo de vida de uma edificação e, de maneira geral, pode-se afirmar que a metodologia é usada principalmente para as etapas de projeto e construção de novos edifícios [4,5]. Vê-se necessária, portanto, a exploração do uso do BIM em edificações patrimoniais, de importância histórico-cultural, cuja denominação é *Heritage Building Information Modeling* (HBIM). Este conceito foi proposto pela primeira vez por Murphy, McGovern e Pavia [5] com a denominação *Historic Building Information Modeling*, para descrever o processo de modelagem dos edifícios históricos a partir do mapeamento da geometria com base em nuvem de pontos e de uma biblioteca de objetos paramétricos. Atualmente, diz-se que o HBIM é um processo de ‘engenharia reversa’ para obtenção do modelo de representação do edifício patrimonial (*heritage building*) – com informação quantitativa e qualitativa –

que potencialmente fará parte de projetos e planos de conservação do monumento construído [6,7].

## 2.2. Damage Information Modeling

Sabe-se que o conceito BIM foi desenvolvido para abranger o ciclo de vida completo das edificações, como também as fases de operação e manutenção. Entretanto, há a necessidade de se estender o BIM para suportar o processo de inspeção de patologias, pois ainda não há um método consolidado para registo de dados específicos de edificações patrimoniais. Pensando nisso, Artus e Koch [8] apresentam o termo *Damage Information Modeling* (DIM) ou Modelagem de Informação de Danos para o registo e a troca de informações entre inspetores, proprietários e engenheiros estruturais a respeito de danos em pontes. Nesse conceito, para que seja possível a análise do DIM, é necessária a inclusão de informações geométricas e semânticas específicas. Inicialmente, incluem-se descrições textuais de cada dano e/ou das condições ambientais durante a inspeção [8,9]. Isso engloba levantamentos (de largura e de orientação de rachaduras), informações textuais (descrições de materiais) e documentação associada (fotos, imagens de levantamentos não destrutivos, entre outros). Os autores afirmam que uma prática comum é armazenar informações de levantamentos realizados *in loco* em objetos designados e vinculá-los ao dano em uma base de dados externa. Isso apresenta a vantagem de facilitar a adição de novas informações, seja após uma inspeção subsequente, seja para atendimento a novas requisições de dados adicionais. Embora o foco principal de Artus e Koch [8] seja abordar danos em pontes, é importante destacar a existência de uma sinergia entre o DIM e o HBIM. Algumas etapas e estratégias dessa experiência podem ser usadas para documentar as patologias existentes em edifícios históricos, unindo informações geométricas, alfanuméricas e documentos associados em base de dados unificada, de fácil acesso a todas as partes envolvidas em um processo de conservação e restauro, por exemplo.

## 2.3. Enriquecimento semântico

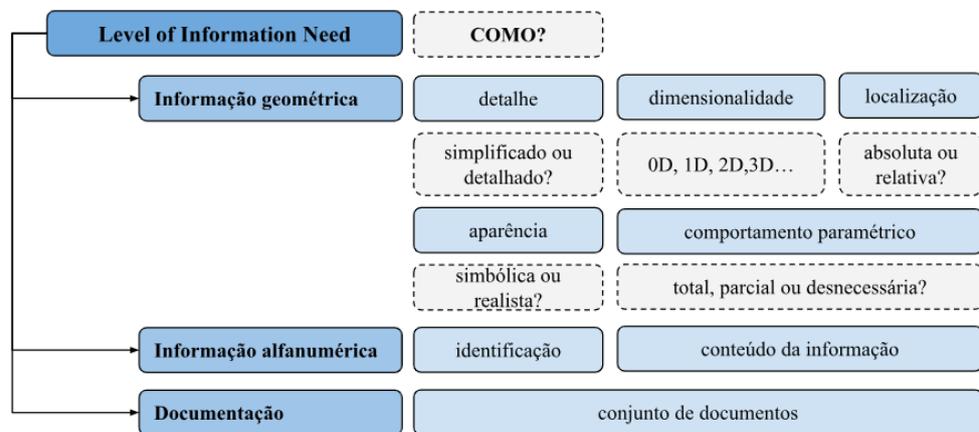
No processo de enriquecimento semântico, as informações geralmente são organizadas em uma base de dados integrada ao software de escolha e, estruturadas de acordo com as classificações atuais da indústria de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). Ao se tratar de edifícios antigos e com elementos que não são mais comumente encontrados [1], essa tarefa de classificação torna-se mais complexa e vários pesquisadores sugerem a utilização de bases de dados externas ao software BIM [1,2]. Pensando nisso, sugere-se a utilização de ferramentas que promovam bidirecionalidade na troca de informações entre modelo BIM e a base de dados de modo a alcançar maiores benefícios no enriquecimento semântico do modelo de construção digital.

Nesse sentido, destaca-se a importância de uso de *plugins* para otimizar esses procedimentos, viabilizando a execução ágil e eficaz de atividades como a extração de

dados do modelo BIM para planilhas e a alimentação de informações ao modelo via planilhas editadas/atualizadas em programas externos (processo bidirecional). Um exemplo de *plugin* que pode ser utilizado para tal função é o DiRootsOne, da empresa DiRoots.

## 2.4. A ISO 19650 e o Nível de Informação Necessária

A publicação da ISO 19650 representa uma revolução global na construção civil ao proporcionar uma estrutura consistente para a gestão de informações em todas as fases de um empreendimento, promovendo a colaboração eficaz entre as partes envolvidas. Ao seguir os princípios dessa norma, projetos de construção podem se beneficiar de maior eficiência operacional, redução de erros e uma gestão holística do ciclo de vida do empreendimento. Além disso, a norma permite aumentar a transparência nas informações, beneficiando todas as partes interessadas desde a concepção até a operação do empreendimento [10]. O advento da norma propõe também o conceito *Level of Information Need* - LOIN (Nível de Informação Necessária) em substituição ao de *Level of Development* - LOD (Nível de Desenvolvimento). A proposição do LOIN pressupõe o estabelecimento de métricas de análise do BIM em termos de qualidade, quantidade e granularidade de informação [10,11]. Em suma, as normas ABNT ISO 19650 [10] e BS EN 17412 [11] estabelecem que o LOIN deverá determinar a quantidade mínima de informação (geométrica, alfanumérica e documentação, conforme Figura 1) para atender aos requisitos do projeto, tal como referido por Karlapudi *et al.* [12].

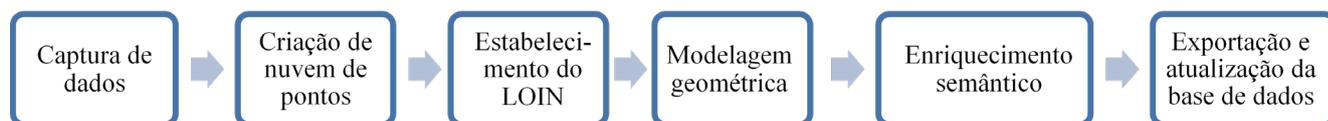


**Figura 1**  
Diagrama de relações do LOIN. Fonte: BS EN 17412 [11].

## 3. O experimento

Nessa seção, serão descritos os procedimentos realizados na etapa de experimentação prática do estudo de caso (Figura 2): captura de dados (levantamento de dados semânticos e tomada fotográfica via drone), criação de nuvem de pontos através da restituição fotogramétrica digital aérea realizada no software Agisoft Metashape, estabelecimento do LOIN do HBIM, modelagem geométrica no Autodesk Revit (versão 2023) e, por fim, o enriquecimento semântico bidirecional com utilização do *plugin* DiRootsOne, com sua ferramenta *SheetLink* que facilita a exportação e importação

de dados ao BIM. Posteriormente a essa exportação, o usuário pode editar a planilha conforme necessário e importá-la novamente à ferramenta BIM para atualizar o modelo.



A fim de realizar o experimento, escolheu-se a Igreja da Ordem Primeira de Nossa Senhora do Carmo, localizada na cidade de Cachoeira, Bahia, por se tratar de um exemplo de arquitetura colonial brasileira única, com relevância para a história do Estado.

**Figura 2**  
Fluxo do método proposto.  
Fonte: Os autores.

### 3.1. A Igreja de Nossa Senhora do Carmo de Cachoeira

A cidade de Cachoeira possui importância histórica e cultural significativa para a Bahia, principalmente devido às lutas pela Independência da nação em 1822 e 1823 e pela influência cultural africana. Por conta disso e do seu conjunto arquitetônico, em 1971, foi elevada ao título de ‘Cidade Monumento Nacional’ [13]. Entre os monumentos que compõem o conjunto tombado, um dos mais icônicos é o Convento de Nossa Senhora do Carmo com sua famosa Igreja da Ordem Primeira. Atualmente, o convento funciona como pousada, enquanto a igreja permanece com suas funções clericais. Em relação à fachada da Igreja, ela possui elementos do rococó português, com cornijas concheadas em estuque e arremates de vasos [13]. O seu frontão é dividido em três seções, destacando-se a parte central, mais alta e imponente. À sua direita, tem-se a torre, levemente descolada, promovendo maior riqueza volumétrica (Figura 3).



**Figura 3**  
Igreja de Nossa Senhora do Carmo, em 2023.  
Fonte: Os autores.

### 3.2. Captura de dados

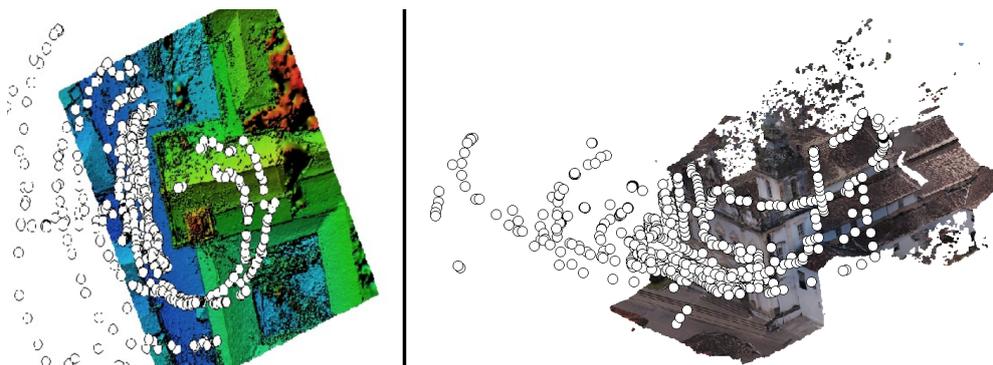
Em relação ao experimento, foram realizadas algumas atividades de captura de dados, descritas a seguir.

- **Levantamento de dados semânticos**

Os dados semânticos referentes ao edifício foram coletados a partir de literatura especializada do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) relacionada ao conjunto arquitetônico em questão [13]. Pode-se citar como exemplo de informações relevantes coletadas: período de construção do conjunto e sua materialidade, histórico de eventos e danos sofridos pelo complexo arquitetônico, como as intempéries naturais ocasionadas pelas chuvas características da região.

- **Tomada fotográfica da Igreja com uso do drone**

A tomada fotográfica foi feita através do drone DJI Mavic Pro, em seu modelo M1P com câmera de resolução de 4K 30FPS. A geometria da captura das fotos foi em forma de 'U' sobre a área de interesse (Figura 4), obtendo-se imagens em intervalos próximos, com valores aproximados de sobreposição horizontal de 60% e vertical de 80%.



**Figura 4**  
Ilustração da tomada fotográfica com uso de drone, em vista superior (esquerda) e em perspectiva (direita).  
Fonte: Os autores.

A escolha em se utilizar o drone ocorreu devido à verticalidade do edifício. Essas imagens, obtidas de diferentes ângulos e altitudes, formaram uma série que serviu como base para a criação de nuvens de pontos, por meio da restituição fotogramétrica digital, descrita na seção 3.3. No total, foram tiradas 686 fotografias do complexo arquitetônico, com foco na Igreja da Ordem Primeira.

- **Levantamento de medidas em campo**

Foram levantadas medidas *in loco* de todo comprimento da fachada e também das bases das pilstras, com trena (fita métrica) de fibra de vidro flexível de modo a permitir, posteriormente, a determinação da escala do modelo no software de fotogrametria.

### 3.3. Criação de nuvem de pontos

Utilizando o software Agisoft Metashape, as imagens foram processadas por meio de processos automatizados de restituição fotogramétrica, onde são identificados conjuntos de pixels homólogos entre as imagens para a geração da nuvem de pontos e outros produtos, como malha triangular irregular texturizada e ortofotos [14]. Para estabelecer a escala real do modelo, na fase conhecida como orientação externa absoluta, foi preciso vinculá-lo às medidas obtidas em campo. Ademais, foi-se necessário exportar a nuvem de pontos para um formato de arquivo compatível com o software BIM escolhido. Esse processo foi realizado com auxílio do software Autodesk Recap (versão 2024) para transformar o formato \*.e57, do Agisoft Metashape, em \*.rcs. Por fim, extraiu-se também do Metashape a ortofoto da fachada principal da Igreja, de modo a auxiliar a vetorização necessária para a modelagem geométrica da fachada.

### 3.4. Estabelecimento do Nível de Informação Necessária (LOIN)

O LOIN desenvolvido para o presente trabalho visou um permitir um equilíbrio entre a modelagem geométrica e a inserção de dados semânticos para uma aplicação voltada para registo do patrimônio e suas patologias. Foram estabelecidos requisitos mínimos para uma modelagem geométrica simplificada dos elementos construtivos e dos danos, e definidos os parâmetros que deveriam ser incorporados para viabilizar a inserção de informações alfanuméricas (histórico da Igreja, datas importantes de intervenções e inspeções, descrição de suas patologias e causas prováveis, medições etc.) e a associação de documentos (fotos atuais, imagens antigas etc.) por meio de *links* do Google Drive. O Quadro 1 apresenta um exemplo de dados do enriquecimento semântico.

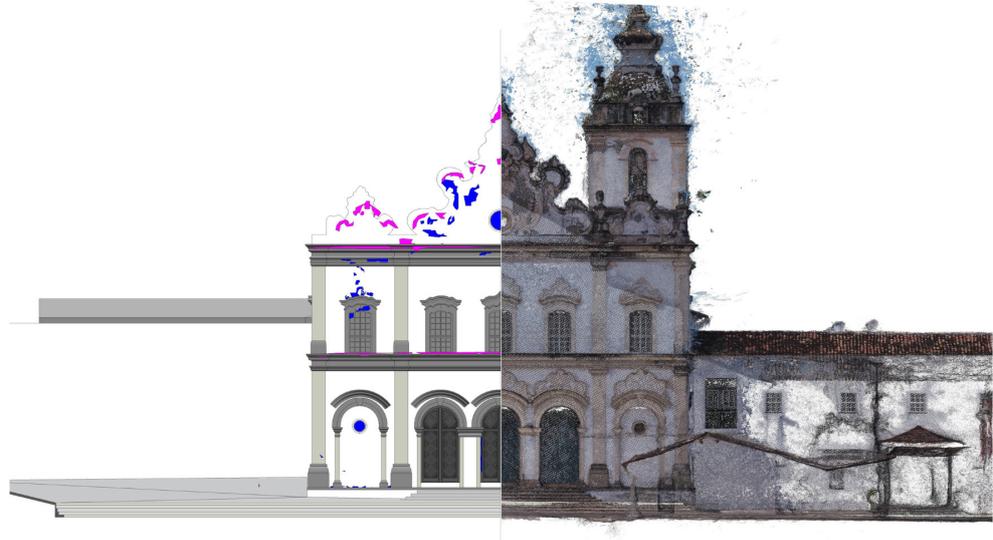
Quadro 1: Exemplos de alguns parâmetros criados e dados preenchidos para enriquecimento semântico do HBIM no que tange os danos da fachada

	Tipo de parâmetro	Instância ou tipo?	Descrição (exemplo)
DANO_CAUSAS PROVÁVEIS	Texto	Instância	Umidade e infiltrações
ARQ_COMPORTEAMENTO PARAMÉTRICO	Sim/não	Instância	S/N
DANO_OBJETO	Texto	Instância	"Frontão_Parede_65cm"
ARQ_CONJUNTO DE DOCUMENTOS	URL	Instância	Link para Google Drive

### 3.5. Modelagem geométrica

O uso de nuvem de pontos como base para a modelagem BIM de edificações existentes é um método que está cada vez mais sendo utilizado pelas vantagens desse tipo de modelo, que permite registrar uma grande quantidade de informações, detalhadas e precisas, por meio de processos automatizados de captura de dados. No caso do experimento relatado no artigo, o processo começou com a importação da nuvem de pontos no Autodesk Revit. A partir deste primeiro passo, fixou-se a nuvem de pontos (para evitar deslocamentos eventuais), criaram-se os níveis associados necessários

para modelagem e iniciou-se a modelagem dos principais elementos construtivos existentes, como paredes, colunas e coberturas (Figura 5).



**Figura 5**

Montagem da representação da nuvem de pontos (lado direito) com o modelo HBIM da igreja (lado esquerdo).

Fonte: Os autores.

O segundo passo foi a modelagem das esquadrias da edificação. Nesse caso, optou-se por utilizar a interface de criação de famílias em formato \*.rfa, nativa do software. Para tal, foi necessário criar desenhos no Autodesk AutoCAD para servirem de referência para modelagem das famílias, a partir da vetorização da nuvem de pontos associada à ortofoto da fachada. Essa etapa foi necessária, pois a ferramenta de criação de famílias do Autodesk Revit não permite, em sua funcionalidade nativa (ou seja, sem plugins específicos), a inserção de nuvens de pontos. Após essa etapa e novamente no Revit, foram criadas as cornijas e molduras existentes com base na nuvem de pontos, utilizando técnicas variadas de modelagem no local, como extrusão e varreduras.

**Figura 6**

Exemplo de patologias da fachada principal da igreja: fissuras, mancha negra e descolamentos.

Fonte: Os autores.



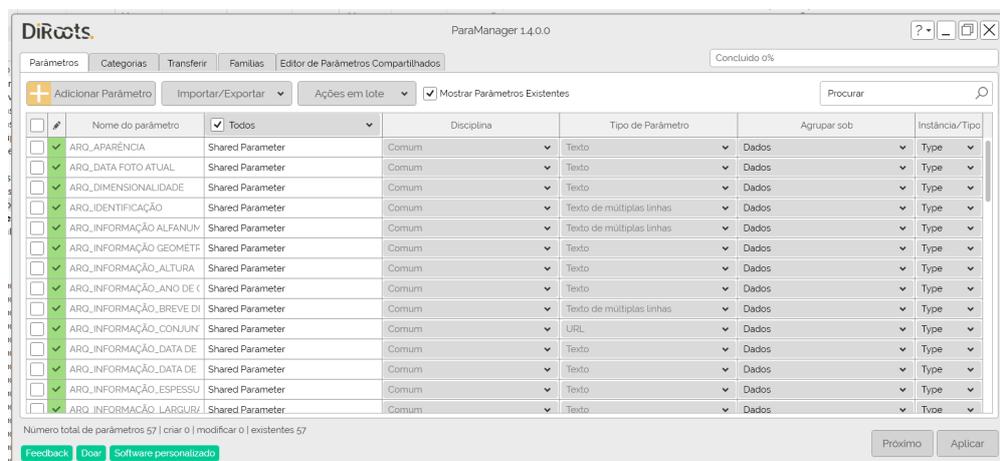
Por fim, realizou-se a modelagem dos danos visíveis (Figura 6) que puderam ser identificados na nuvem de pontos e na ortofoto da fachada. Nesse caso foi usado também o recurso de extrusão da modelagem no local. Esses objetos foram classificados como 'modelos genéricos', por não haver, atualmente, classificação específica para esses elementos no contexto do software usado. Em relação a dificuldades encontradas durante o processo de modelagem geométrica, ressalta-se que a nuvem de pontos se apresentou densidade insuficiente para modelagem dos ornamentos e de representação mais detalhada das patologias.

### 3.6. Enriquecimento semântico

Em seguida à modelagem geométrica da fachada, e com o LOIN previamente estabelecido, passou-se a planejar o processo de incorporação das informações relevantes ao modelo. Esses dados foram classificados em categorias específicas: arquitetura (ARQ) e danos (DANO). Para cada categoria, foi criada uma ficha contendo campos para preenchimento, proporcionando uma compreensão mais abrangente do objeto. Os parâmetros associados aos danos (Figura 7) abrangem informações como o seu nome, mecanismos, causas prováveis, local de ocorrência, proposta de restauração, nível de urgência e última atualização do modelo. Essa abordagem permite uma compreensão do dano mesmo com uma representação geométrica simplificada.

Durante o experimento, verificou-se que é essencial a determinação do tipo de parâmetro, incluindo opções como texto, número, *links* URL, bem como a distinção entre parâmetros de instância e tipo. A criação de parâmetros foi realizada no Autodesk Revit com auxílio do *plugin* DiRootsOne na aba de *Tools*, subcategoria *Manage*, no *ParaManager*. Após a criação, os parâmetros foram atribuídos a todos os objetos, na categoria IFC, para o enriquecimento semântico. As informações puderam ser adicionadas diretamente no Revit ou por meio de um software externo de criação/edição de planilhas como o Microsoft Excel ou o Google Sheets, utilizando o *SheetLink* (função do *plugin* citado) para extrair e selecionar os parâmetros desejados. Essa prática permite facilitar o acesso, o armazenamento e a atualização de dados por diversos atores envolvidos no processo, sem requerer o conhecimento e uso específico do software BIM. Portanto, o *plugin* apresentou uma solução para superar as restrições inerentes às capacidades nativas do software BIM, proporcionando maior adaptabilidade e efetividade nas operações. A atualização das informações (de modo bidirecional) ocorre em quatro etapas: exportação de planilha do Revit e edição da mesma por *software* externo, criação de planilha com novo nome (com a ferramenta 'Salvar Como') e importação desta pelo *SheetLink* para o Revit. Seguindo essa sequência, as informações podem ser atualizadas automaticamente, pois o *Element ID* é único a cada instância presente no modelo BIM. Ao final dessa experimentação, destaca-se que é fundamental a compressão das etapas envolvidas no processamento de informações dentro do parâmetro compartilhado, uma vez que a inclusão de dados pode não resultar em atualizações automáticas. Como exemplo, no parâmetro criado 'DANO\_ÁREA', é essencial expressar a informação de forma numérica, como, por exemplo, '60' em vez de '60m<sup>2</sup>' devido à configuração do parâmetro como 'IFCNUMBER' em oposição a 'IFCTEXT'. O sistema está programado

para criar alertas sobre eventuais erros, caso a entrada não esteja em conformidade com o preenchimento esperado.



**Figura 7**  
Janela da categoria  
'danos', na interface do  
DiRoots One.  
Fonte: Os autores.

## 4. Conclusão

O trabalho realizado permitiu demonstrar que a combinação do *plugin* DiRootsOne com o *software* Autodesk Revit apresenta-se como uma abordagem promissora para enriquecer modelos HBIM. Essa integração viabiliza a inclusão de dados históricos, interpretativos e do estado de conservação, simplificando a visualização, consulta e atualização de informações semânticas em edificações patrimoniais. O método adotado dispensa a necessidade de se recorrer ao uso de linguagem de programação, oferecendo uma alternativa intuitiva e acessível para a gestão mais eficiente de informações em ambientes HBIM e fortalecendo as capacidades de análise e interpretação de edificações ao longo do tempo. Essa abordagem também se alinha com as diretrizes da ISO 19650, permitindo um processo mais otimizado e consistente de criação do modelo baseado no LOIN especificado, de modo a atender às necessidades da aplicação específica e evitando detalhamentos geométricos excessivos e custosos. Como lição aprendida, destaca-se a necessidade de um planejamento cuidadoso de todo processo de modo a atender aos objetivos do modelo, incluindo a etapa de captura de dados geométricos em campo, para evitar problemas ocorridos, como a baixa densidade da nuvem de pontos em alguns locais com danos e em determinados elementos decorativos da igreja.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela bolsa de iniciação científica concedida através do programa PIBIC-FAPESB da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

## Referências

- [1] N. Bruno and R. Roncella, “HBIM for conservation: A new proposal for Information Modeling,” in *Remote Sensing*, vol. 11, no. 15, p. 1751, 2019. doi:10.3390/rs11151751
- [2] S. Corsi et al., “Linking external knowledge to Heritage BIM,” in *Automation in Construction*, vol. 141, p. 104444, 2022. doi:10.1016/j.autcon.2022.104444.
- [3] Eastman, C. M. et al., *Manual de BIM: um guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores*. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2021.
- [4] I. J. Palomar, “Protocol to manage heritage building interventions using Heritage Building Information Modeling (HBIM)”, tese, Politécnica de Valência, Valência, 2019.
- [5] M. Murphy, E. McGovern, and S. Pavia, “Historic Building Information Modelling (HBIM),” *Structural Survey*, vol. 27, no. 4, pp. 311–327, 2009. doi:10.1108/02630800910985108.
- [6] X. Yang et al., “Review of Built Heritage Modelling: Integration of HBIM and other information techniques,” *Journal of Cultural Heritage*, vol. 46, pp. 350–360, 2020. doi:10.1016/j.culher.2020.05.008.
- [7] T. C. Wu et al., “Improving traditional building repair construction quality using historic building information modeling concept,” *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XL-5/W2, pp. 691–694, 2013. doi:10.5194/isprsarchives-xl-5-w2-691-2013.
- [8] M. Artus and C. Koch, “Retracted: Object-oriented damage information modeling concepts and implementation for bridge inspection,” in *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 36, no. 6, 2022. doi:10.1061/(asce)cp.1943-5487.0001030.
- [9] R. Sacks et al., “Seebridge as Next Generation Bridge Inspection: Overview, Information Delivery Manual and Model View Definition,” in *Automation in Construction*, vol. 90, pp. 134–145, 2018. doi:10.1016/j.autcon.2018.02.033.
- [10] Organização e digitalização de informações sobre edifícios e obras de engenharia civil, incluindo modelagem de informações de construção (BIM) – Gerenciamento de informações usando modelagem de informações de construção, NBR ABNT ISO 19650, 2022.
- [11] Building information modelling - level of information need. Concepts and principles, BS EN 17412, 2020.

- [12] J. Karlapudi *et al.*, “Enhancement of BIM data representation in product-process modelling for building renovation,” in *Product Lifecycle Management Enabling Smart X*, pp. 738–752, 2020. doi:10.1007/978-3-030-62807-9\_58
- [13] Flexor, M. H. O., *Igrejas e Conventos da Bahia*. Brasília, DF: Iphan/Programa Monumenta, 2010.
- [14] N. J. Groetelaars, “Criação de modelos BIM a partir de ‘nuvens de pontos’: Estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica,” tese, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2015.

# Uso da metodologia BIM em projetos geotécnicos. Caso de estudo: Construção de reservatórios enterrados

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.6>

**André Henriques<sup>1</sup>, Nuno Silva<sup>2</sup>, Miriam Lopes<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *JET<sub>sl</sub> Geotecnia Lda, Lisboa, 0009-0001-2499-1051*

<sup>2</sup> *JET<sub>sl</sub> Geotecnia Lda, Lisboa, 0009-0007-7102-2601*

<sup>3</sup> *JET<sub>sl</sub> Geotecnia Lda, Lisboa, 0009-0003-4161-3786*

## Resumo

A Modelação de Informação da Construção (BIM) é uma metodologia baseada em tecnologia digital amplamente usada na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção. A aplicação do BIM em projetos geotécnicos pode proporcionar benefícios significativos, pois permite tirar partido de uma melhor visualização e de uma análise mais completa dos dados geotécnicos, conduzindo a soluções mais realistas e otimizadas, tendo em conta a caracterização geológica e geotécnica existente.

Este artigo tem como objetivo apresentar o uso desta metodologia no projeto geotécnico e estrutural de dois reservatórios em Belo Horizonte, Brasil, com uma área de aproximadamente 3500 m<sup>2</sup>. A análise das soluções geotécnicas e estruturais foi realizada num modelo de elementos finitos, gerado através da importação de um modelo geológico-geotécnico através do formato IFC com superfícies geológicas definidas através da interpolação dos resultados de ensaios de campo. Além disso, foi desenvolvido um modelo geométrico, o qual possibilitou evitar a colisão entre diferentes elementos e estruturas existentes e conduziu a uma melhor visualização e interpretação das diversas fases de construção. Tendo em conta os requisitos iniciais, todas as armaduras do reservatório foram modeladas e detalhadas, o que proporcionou uma melhor precisão no posicionamento de armaduras, contribuindo para melhorar a eficiência das condições de fabrico e de montagem em obra.

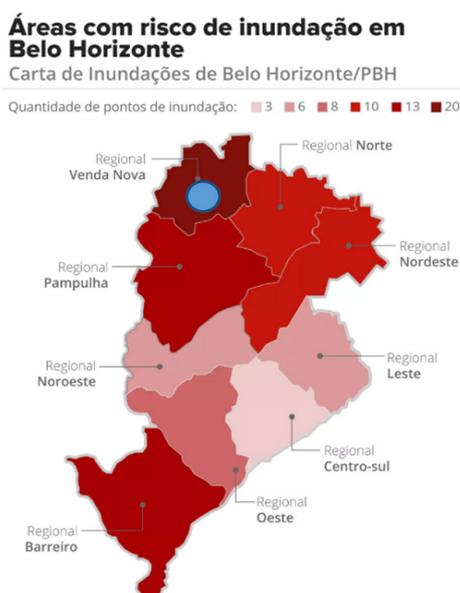
## 1. Introdução

No presente artigo apresenta-se a aplicação da metodologia BIM para a execução do projeto referente à construção dos reservatórios “Nado 1” e “Vilarinho 2” inseridos no conjunto de obras de mitigação das inundações recorrentes dos Córregos Vilarinho, Nado e Ribeirão Isidoro, integradas na bacia hidrográfica do Ribeirão do Onça. A presente obra insere-se na reestruturação do sistema de escoamento e macro drenagem da cidade de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 1).



**Figura 1**  
Município de Belo Horizonte e localização dos dois reservatórios.

A cidade tem aproximadamente 90 áreas de risco, classificadas de acordo com o número de pontos por município, sendo a região de Venda Nova, onde se inserem ambos os reservatórios, a região de maior incidência de registros de inundação, com aproximadamente 20 pontos classificados (Figura 2).



**Figura 2**  
Mapa de Risco de inundações [1] e identificação da localização dos reservatórios (a azul).

A execução de dois reservatórios enterrados de grandes dimensões (cerca de 3500 m<sup>2</sup>) e profundidade (cerca de 35 m) na área de Vilarinho (Figura 3) e Nado

(Figura 4), inseridos numa região densamente ocupada da cidade de Belo Horizonte, resulta num processo de dimensionamento marcado por uma complexa interação solo-estrutura influenciada por diversos fatores tais como: simetria estrutural, assimetria geológica-geotécnica, análise de fluxo e estabilidade do fundo de escavação (rotura hidráulica) através de formações permeáveis, faseamento construtivo da obra e um exigente controlo da bacia de assentamentos do espaço envolvente. Neste contexto foram realizadas análises tridimensionais de modo a obter resultados com maior confiabilidade, capturando a interação solo-estrutura de um modo adequado. A realização destas análises foi concebida através do uso da metodologia BIM com a realização e integração de modelos geotécnicos, numéricos e geométricos dos elementos estruturais constituintes dos reservatórios.



**Figura 3**  
Reservatório Vilarinho e envolventes.

**Figura 4**  
Reservatório Nado e envolventes.

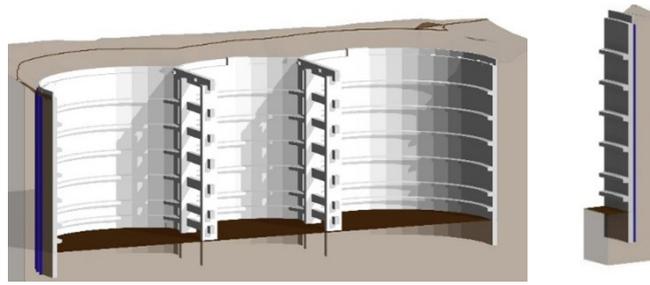
## 2. Solução estrutural

A conceção base para o projeto teve como objetivo o controlo de deformações na área de influência da escavação, visando a minimização do impacto da mesma nas infraestruturas existentes, bem como nos edifícios vizinhos.

Assim, dada a elevada profundidade de escavação projetada e a natureza das formações geológicas atravessadas (solos aluvionares, residuais e rochas fraturadas), optou-se por uma solução em paredes moldadas, materializada por 3 poços circulares que se intersectam. Nos pontos de interseção previu-se a execução de dois pórticos em betão armado, materializados por um conjunto de pilares e escoras travados em diversos níveis, procurando reduzir os respetivos comprimentos de encurvadura.

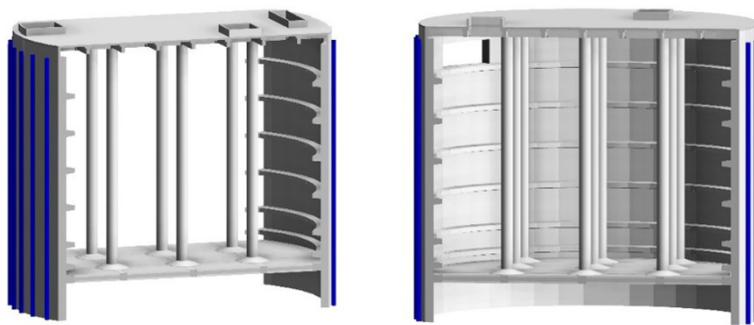
Visando garantir um adequado funcionamento da estrutura de contenção na presença de eventuais desvios da verticalidade dos painéis de parede moldada foram projetados diversos anéis de travamento, igualmente em betão armado, ao longo do perímetro da parede, responsáveis por transmitir as cargas para os diferentes níveis de escoras dos pórticos (Figura 5). Os impulsos e sobrecargas regulamentares atuantes sobre a face das paredes moldadas são por sua vez transmitidas por flexão/corte para os anéis e, por esforços axiais dos anéis e plano da parede para os dois pórticos de betão armado, ficando assim a estrutura em equilíbrio.

**Figura 5**  
Pórticos e anéis de travamento dos reservatórios.



A estrutura da cobertura do reservatório consiste essencialmente em pré-lajes apoiadas em vigas pré-fabricadas, que por sua vez apoiam em pilares de betão armado com altura igual à altura do reservatório (Figura 6).

**Figura 6**  
Pilares de apoio à cobertura do reservatório.



As vigas principais assentam nos pilares interiores, simplesmente apoiadas, e na viga de coroamento perimetral do reservatório (Figura 7). Transversalmente às vigas principais, existem as vigas secundárias, em forma de T, que apoiam nas vigas principais e nos pilares interiores, bem como na viga de coroamento da parede moldada.

As pré-lajes, de comprimento variável, encontram-se dispostas segundo o eixo perpendicular ao alinhamento das vigas secundárias, apoiando no topo das mesmas, bem como na viga de coroamento da parede moldada.

**Figura 7**  
Vigas da cobertura do reservatório.



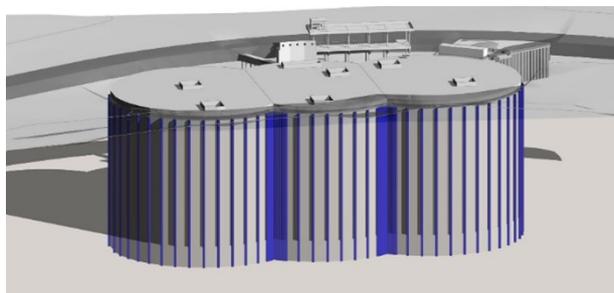
### 3. Utilização de ferramentas BIM

#### 3.1. Introdução

Tendo em conta o desenvolvimento e a importância do uso de ferramentas BIM na construção civil em especial em projetos geotécnicos [2], e apesar do uso desta metodologia não constituir um requisito obrigatório por parte do dono de obra optou-se, desde início, em realizar este projeto em ambiente colaborativo, integrando e compatibilizando a geometria da estrutura do reservatório e estruturas anexas com a sua armadura, e compatibilizando a estrutura com o ambiente geológico-geotécnico circundante (Figura 8).

O desenvolvimento do projeto através da metodologia BIM permitiu ainda identificar diversas incompatibilizações entre os diferentes elementos estruturais constituintes do reservatório, as quais foram atempadamente corrigidas em projeto, previamente à execução em obra.

De referir que o projeto das restantes especialidades envolvidas foi realizado através da metodologia convencional *CAD*, pelo que a troca de informação foi efetuada através de plantas e cortes.



**Figura 8**  
Integração dos modelos BIM das diversas estruturas e infraestruturas adjacentes.

#### 3.2. Modelação geotécnica

Visando a identificação da natureza, da consistência e da estrutura das formações geológicas constituintes do substrato a intersectar pela escavação associada à construção de ambos os reservatórios, bem como das suas características geomecânicas, foram realizadas, em ambos os locais interessados, campanhas de prospeção compreendendo a realização de sondagens mecânicas, prospeção geofísica, ensaios *in situ* e de laboratório.

A análise do conjunto de informação proporcionada pelas campanhas de prospeção implementadas, convenientemente enquadrado pela consulta da carta geológica de Belo Horizonte, folha SE.23-Z-C-V1 [3], permitiu sistematizar as diferentes unidades lito-estratigráficas interferidas pelos terrenos onde se pretende proceder à implantação dos reservatórios “Nado 1” e “Vilarinho 2”.

Verifica-se assim que o ambiente geológico local envolve, em geral, uma camada superficial de materiais modernos de origem antrópica, aluvionar e coluvionar, denominados como “depósitos de aterro” e “depósitos aluvionares/coluvionares” respectivamente. Subjacente a estas formações, encontra-se um substrato datado do Arqueano, representando a unidade lito-estratigráfica designada por “Complexo Belo Horizonte” (Ab), composto superficialmente por solos residuais/saprólitos que recobrem um maciço rochoso de gnaiss com um grau de alteração que varia de são a muito alterado

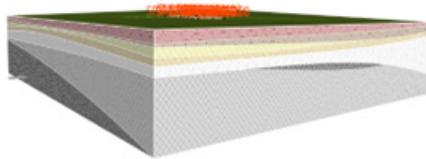
De um modo geral, para efeitos de dimensionamento, a cada uma das unidades geológicas existentes no terreno estudado, fez-se corresponder uma zona geotécnica, permitindo uma fácil associação dos resultados dos ensaios com as variações geológicas detetadas nas sondagens.

Por forma a realizar uma avaliação mais correta dos materiais intersetados pelas paredes moldadas [4], assim como aferir os diversos volumes de escavação desses materiais e a posição do nível freático existente, optou-se por efetuar uma modelação tridimensional da estrutura geológica tendo por base a informação proporcionada pelo extenso plano de prospeção realizado.

Esta modelação foi desenvolvida através da ferramenta de Estratigrafia do *software GEO5*, a qual permite, através da introdução de diversos dados de ensaios de campo pontuais (sondagens, poços, CPT, DPT, SPT, DMT e PMT), representando um conjunto de pontos que assinalem transições entre as várias formações, e do levantamento topográfico, interpretar e gerar um modelo geológico composto por um conjunto de superfícies de transição entre as diversas formações que constituem o terreno na zona dos reservatórios (Figura 9 e Figura 10). A realização deste modelo é efetuada de uma forma iterativa, envolvendo a interpretação e análise do modelo obtido até que este possua os resultados fiáveis e em conformidade com o estudo geológico-geotécnico.

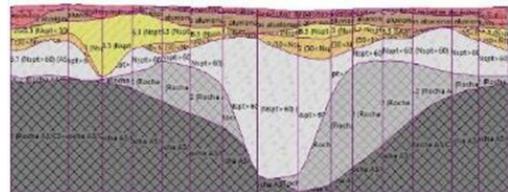
**Figura 9**

Estratigrafia gerada pelo GEO5 após a inserção dos dados dos ensaios geotécnicos.

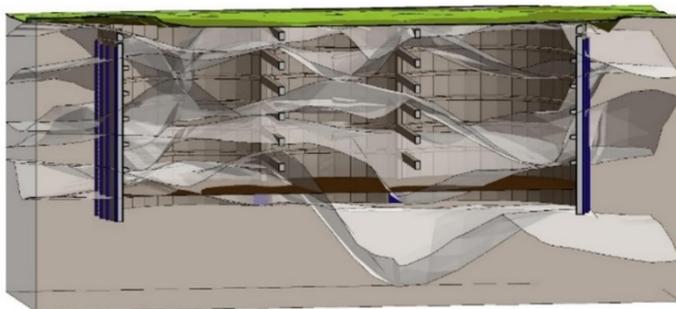


**Figura 10**

Corte longitudinal da estratigrafia existente na zona do reservatório.



Toda esta informação foi colocada no programa através da georreferenciação com coordenadas X, Y e Z, por forma a possibilitar a exportação posterior para os programas de modelação numérica e geométrica da estrutura através do formato universal IFC (Figura 11). De referir que esta exportação apenas continha a informação geométrica das interfaces, assim como a indicação da camada superior e inferior de cada interface, não tendo sido possível a exportação de informação geotécnica.



**Figura 11**  
Interfaces entre unidades geotécnicas realizadas no *GEO5* e exportadas para o modelo geométrico *REVIT* em formato *IFC*.

### 3.3. Modelação numérica

Procurando avaliar o efeito da assimetria geológica-geotécnica, da assimetria estrutural e da presença das estruturas e infraestruturas vizinhas, e deste modo estimar da melhor forma possível a variação espacial de impulsos atuantes nas paredes de contenção e, conseqüentemente, dos esforços e deformações atuantes na estrutura, procedeu-se à realização de análises de elementos finitos tridimensionais, recorrendo-se ao *software PLAXIS 3D*, simulando as principais fases construtivas.

As referidas análises consistiram na realização de modelos tridimensionais que englobam a totalidade da estrutura de contenção, bem como as estruturas e infraestruturas vizinhas (Figura 12). A geometria dos modelos de cálculo numérico, em particular, no que concerne à definição espacial da estrutura geológica, foi definida tendo por base os modelos geológicos tridimensionais apresentados no capítulo anterior.

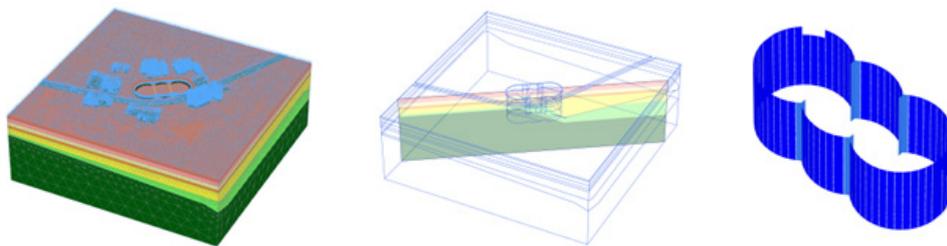
Para este efeito, visando a geração de malhas de elementos finitos adequadas, primeiramente foram importados os pontos das fronteiras geotécnicas (gerados no modelo *GEO 5*) para o *AutoCAD 3D*, seguindo-se a criação de superfícies NURBS (*Non Uniform Rational Basis Spline*) na transição entre as diversas formações que constituem o terreno na zona dos reservatórios e, por fim, a importação destas superfícies para o programa de cálculo numérico *PLAXIS 3D*. Todo este processo foi realizado de uma forma iterativa até que se gerasse uma malha de elementos finitos com qualidade suficiente para a análise de todos os elementos estruturais e infraestruturas vizinhas.

A informação geométrica relacionada com a estrutura do reservatório, em particular os painéis da parede moldada, foi importada para o modelo numérico de uma forma simplista com linhas representativas do eixo dos painéis através de uma planta em formato *DXF* para que, posteriormente, no modelo numérico, fosse realizada a extrusão das mesmas criando assim os diversos painéis constituintes da parede moldada. Esta abordagem, embora limitativa, permitiu reduzir erros numéricos aquando da interação dos diferentes softwares, por estes possuírem diferentes tolerâncias de modelação.

O domínio de análise, em planta, correspondeu a uma área de 385 m x 365 m, alcançando uma profundidade máxima de 133 m.

**Figura 12**

Geometria e malha de elementos finitos do modelo tridimensional de cálculo de um reservatório e seus elementos estruturais (PLAXIS 3D).



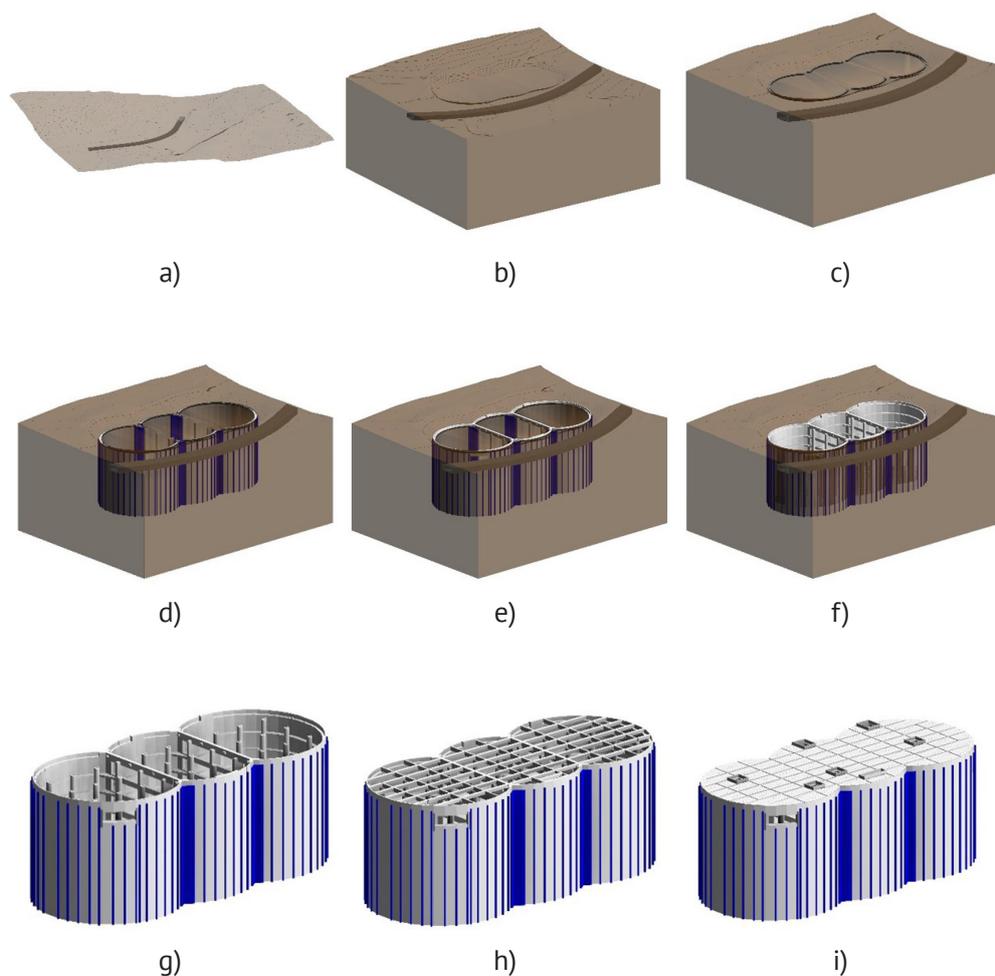
### 3.3. Modelação geométrica

Tendo por base os desenhos do anteprojeto estrutural realizado em *AutoCAD*, optou-se por realizar a modelação geométrica da estrutura do reservatório e estruturas acessórias no *REVIT*, compatibilizadas através de georreferenciação.

Por forma a tornar o projeto mais completo, ajudar a ter uma melhor perceção de todos os elementos constituintes dos modelos e a extrair de uma forma mais simples as quantidades de materiais dos diversos elementos constituintes do reservatório, nomeadamente a cofragem, o betão e as armaduras, foram criadas diversas fases, simulando de uma forma simples a construção do reservatório. Assim, foram definidas as seguintes fases:

1. Existente (Figura 13a) – Topografia existente modelada no *Civil3D* e importada no *REVIT* através das ferramentas constituintes do programa;
2. Escavação (Figura 13b) – Escavação necessária para atingir a plataforma de trabalho de execução dos painéis da parede moldada;
3. Muro guia (Figura 13c) – Escavação da zona do muro guia e execução do mesmo por forma a guiar a execução dos painéis da parede moldada no troço inicial e, assim, garantir uma maior verticalidade;
4. Painéis e *jet grouting* (Figura 13d) – Execução dos painéis da parede moldada e das colunas de *jet grouting*;
5. Viga de coroamento (Figura 13e) – Execução da viga de coroamento que liga todos os painéis da parede moldada e permite um funcionamento em conjunto dos mesmos;
6. Anéis e escoras (Figura 13f) – Execução faseada dos anéis de contenção dos vários níveis e respetivas escoras;
7. Fundações e pilares (Figura 13g) – Execução das fundações e respetivos pilares interiores de apoio à cobertura;
8. Vigas de cobertura (Figura 13h) – Colocação das vigas de cobertura pré-fabricadas;
9. Lajes de cobertura (Figura 13i) – Colocação das pré-lajes e betonagem da lâmina de compressão.

De referir ainda que a realização do modelo utilizando estas fases foi fundamental para que todos os intervenientes na execução dos reservatórios (projetistas, construtores, fiscalização e dono de obra) pudessem entender de uma forma clara o planeamento e a execução da obra.



**Figura 13**  
Fases para a execução da estrutura: a) existente; b) escavação; c) muro guia; d) painéis e *jet grouting*; e) viga de coroamento; f) anéis e estroncas; h) vigas de cobertura; i) lajes de cobertura.

### 3.4. Modelação das armaduras

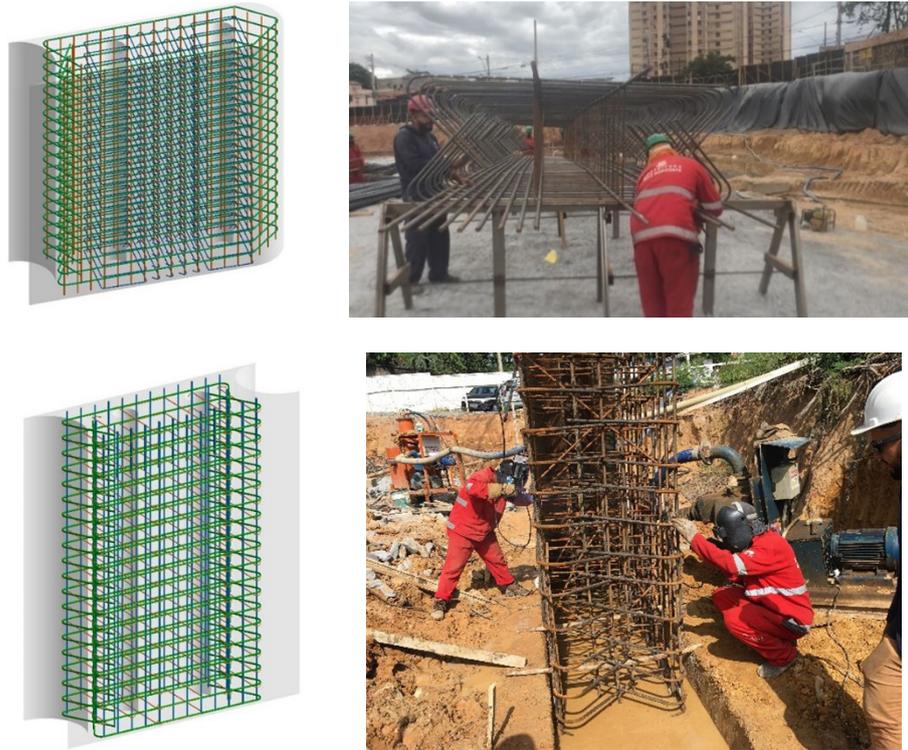
Os varões dos elementos constituintes do reservatório foram modelados nos *softwares REVIT* e *TEKLA* possibilitando a perfeita e total compatibilização entre elementos para que, em fase de obra, não existissem quaisquer dúvidas ou erros na montagem das armaduras.

A modelação dos elementos mais simples e com um maior desenvolvimento em comprimento, como os painéis da parede moldada foi desenvolvida no *REVIT* (Figura 14) enquanto a modelação dos elementos mais complexos como as vigas e lajes da cobertura foi executada no *TEKLA* (Figura 15). Para cada tipo de elemento foram representados todos os tipos de varões utilizados, incluindo o diâmetro, comprimento, quantidade e ainda uma tabela resumo com as quantidades de aço para cada diâmetro.

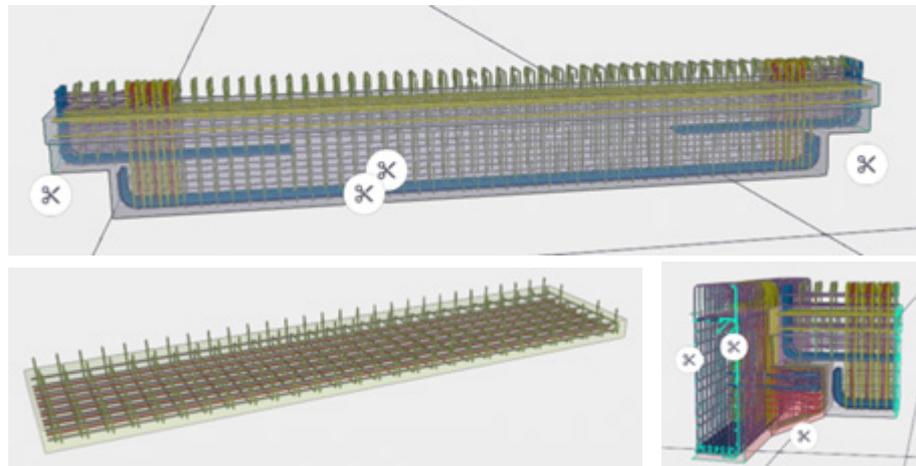
De referir que uma vez que a modelação geométrica foi apenas desenvolvida no *software REVIT*, foi necessário exportar o modelo geométrico realizado através do formato universal *IFC* para que fosse possível, posteriormente, a modelação de armaduras no *TEKLA*.

**Figura 14**

Modelação das armaduras de diferentes painéis e montagem das mesmas em obra.

**Figura 15**

Modelação das armaduras de diferentes painéis e montagem das mesmas em obra.



Esta modelação, apesar de morosa, apresenta inúmeras vantagens para os projetos geotécnicos, em especial para os projetistas e para os construtores, nomeadamente:

- Redução dos desperdícios de aço da obra;
- Redução do tempo despendido na apresentação e medição das armaduras quando comparado com os métodos tradicionais via CAD;
- Correção dos erros e incompatibilizações entre armaduras numa fase preliminar;
- Avaliação de todos os detalhes necessários para uma boa execução;
- Medições adaptativas e automáticas;
- Otimização do transporte das armaduras.

## 4. Considerações finais

O presente artigo abordou o uso da metodologia BIM para a execução do projeto de fundações e estruturas de dois reservatórios subterrâneos com cerca de 35 m de profundidade inseridos no sistema de controlo de cheias da cidade de Belo Horizonte, no Brasil.

Os modelos geológico-geotécnicos realizados bem como a sua integração (de uma forma iterativa) com os modelos numéricos e geométricos permitiram tirar partido de uma melhor visualização e de uma análise mais completa dos dados geotécnicos, conduzindo a uma correta simulação da interação solo-estrutura e, consequentemente, a soluções mais realistas e otimizadas.

A aplicação da metodologia BIM no presente projeto geotécnico facilitou a coordenação entre os diversos elementos constituintes do reservatório e as estruturas adjacentes a este, proporcionando uma melhor e mais eficaz interpretação das diferentes fases da construção desde o início da fase de projeto, evitando erros de compatibilização durante a fase de execução.

Apesar de não ter existido uma completa coordenação com as diferentes especialidades envolvidas no processo, em particular a arquitetura e drenagem, a realização do projeto de contenção e de estruturas segundo esta metodologia trouxe benefícios à entidade executante, pois permitiu, através da análise dos modelos realizados, esclarecer durante o período de obra diversas dúvidas relacionadas com a geometria bem como a posição das armaduras dos diversos elementos e suas ligações.

Conclui-se por fim que esta metodologia representa uma evolução significativa na abordagem dos projetos geotécnicos e na eficiência da execução dos mesmos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a autorização da SUDECAP e consórcio CME para a publicação do presente artigo e a colaboração e disponibilidade no envio dos dados necessários para a elaboração do documento.

## Referências

- [1] Flávia Cristini, <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2018/09/27/bh-tem-quase-90-areas-sujeitas-a-enchentes-saiba-onde-ficam.ghtml>, G1 MG Belo Horizonte, 2018
- [2] I Vaniček, D Jirásko and M Vaniček, “*Role of Geotechnical Engineering in BIM process modelling*” in *14th Baltic Sea Region Geotechnical Conference (2021)*, Helsínquia, Finlândia, 2021. Doi: 10.1088/1755-1315/727/1/012007

- [3] Brandalise, Luíz Alberto. Folha SE.23-Z-C-VI. Estado de Minas Gerais. Escala 1:100 000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Belo Horizonte. Brasília : s.n., 1999
- [4] L. Tawelian and S. Mickovski, "*The implementation of Geotechnical Data Into the BIM Process*", 2016

# Implementação e aplicação prática das metodologias digitais de trabalho nas áreas da geologia e geotecnia

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.7>

Alice Modesto<sup>1</sup>, Pedro Serra<sup>1</sup>, Rui Freitas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> COBA Consultores de Engenharia e Ambiente, S.A, Lisboa Portugal

## Resumo

A presente publicação tem como objetivo demonstrar a aplicação de metodologias digitais de trabalho nas áreas da geologia e geotecnia, num contexto real de projeto, recorrendo a ferramentas de modelação paramétrica. A utilização de software da especialidade permite otimizar e uniformizar a execução de modelos e perfis geológicos (comumente apresentados sob o formato de peças desenhadas bidimensionais) do ponto de vista dos recursos, do processo de trabalho e da qualidade do produto final.

Nesse sentido, serão apresentados diversos exemplos, os quais integram projetos com finalidades distintas, possuem dados de base diferentes (diversos tipos de prospeção geológica), e condições topográficas e geológicas diferenciadas. Nos vários projetos, a informação foi tratada recorrendo ao software Rockworks, que permite a constituição de uma base de dados geológica digital, produzir modelos geológico-geotécnicos tridimensionais, e extrair perfis geológicos em diferentes direções, tanto para o projeto de engenharia, como para a gestão da documentação geológica do projeto. No contexto destas aplicações práticas, serão apresentadas as vantagens e os desafios nas várias etapas do processo, nomeadamente, o tratamento e a introdução dos dados de base, os diferentes algoritmos de modelação e as questões relacionadas com a interoperabilidade – uma característica essencial para integrar a nova ferramenta digital nos processos BIM de produção da empresa.

As expectativas para a investigação e implementação desta ferramenta, prendem-se com a capacidade de incrementar a qualidade e produtividade na área da geologia/geotecnia e alcançar um novo produto de projeto – o modelo geológico-geotécnico BIM – que seja compatível com as ferramentas e processos digitais já implementados nos outros sectores de uma empresa multidisciplinar de projeto, como o é a COBA.

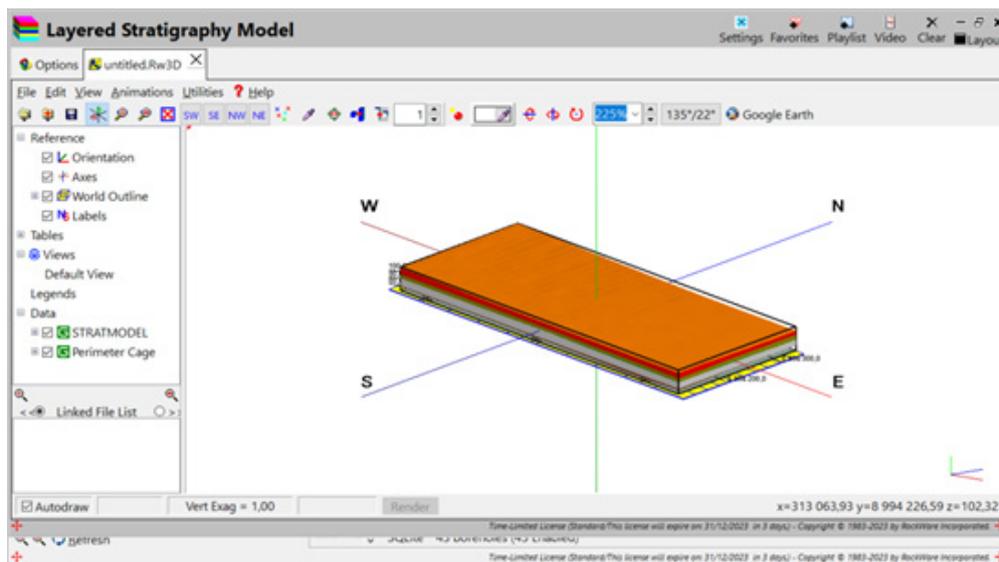
## 1. Introdução

A construção de modelos geológico-geotécnicos constitui uma tarefa desafiante na área da Geotecnia, especialmente na vertente de projeto. A utilização de ferramentas 3D associadas à geologia são comumente utilizadas na área da indústria mineira, não só devido às necessidades relacionadas com as grandes dimensões das áreas a estudar, mas também devido ao grande volume de prospeção associados a este tipo de projetos. No âmbito da Geotecnia, o volume de prospeção possui geralmente uma razão relativamente à área em estudo consideravelmente mais baixa, acabando por suscitar muitas dúvidas entre os Geotécnicos acerca da viabilidade de utilização de modelos 3D. Dada a maturidade da COBA na utilização de metodologias BIM aplicadas a diversas áreas de projeto, surgiu necessidade de agregar a informação Geológico-Geotécnica às metodologias adotadas por outras especialidades. Após 1 ano de testes e de experiências diversificadas, a COBA decidiu desenvolver e implementar uma ferramenta de modelação geológica que permite a execução modelos Geológicos 3D, o Rockworks. A utilização desta ferramenta, no âmbito dos estudos Geológico-Geotécnicos permite uma conexão multidisciplinar na execução de projetos em BIM, integrando nos modelos a informação Geológica e Geotécnica. Até ao momento, foram produzidas diversas peças desenhadas com base nos modelos gerados, em terrenos com morfologias suaves e com uma quantidade de prospeção adequados para o reconhecimento geológico-geotécnico dos locais. No presente artigo será especificado o contexto da utilização do software Rockworks nas fases de projeto, com base numa metodologia comum, evidenciando os principais passos a seguir na construção de modelos geológicos ou geotécnicos, realçando vantagens e limitações identificadas durante o procedimento.

## 2. Criação do modelo

A criação do modelo (Figura 1) consiste num processo de cálculo efetuado pelo programa que gera um conjunto de superfícies 3D (grids) que representam os contactos geológicos, com base nos dados da prospeção introduzidos. Sempre que são efetuados os cálculos para gerar um modelo é necessário especificar o algoritmo, dimensões e a sequência a adotar (do topo para a base). Para cada um dos contactos geológicos é processada uma grid superior e uma grid inferior, que materializam o topo e a base de cada camada. A superfície topográfica, também materializada por uma grid, é adicionada nas opções gerais de criação do modelo.

**Figura 1**  
Exemplo de modelo em camadas.



## 2.1. Escolha do algoritmo

Sempre que surge necessidade de o programa necessitar de efetuar cálculos para gerar ou atualizar novas superfícies, sejam elas grids ou contactos geológicos, é necessário definir o método de interpolação utilizado. A escolha do algoritmo influencia fortemente o modo como serão efetuados os cálculos que darão origem à nova superfície. A escolha dos algoritmos consta sempre nos menus de opções gerais de cálculo tanto da grid como do modelo geológico, em que são criados os contactos. Dos algoritmos disponíveis, considera-se que o “Closest Points” se trata do mais adequado para a construção de modelos geológicos e geotécnicos.

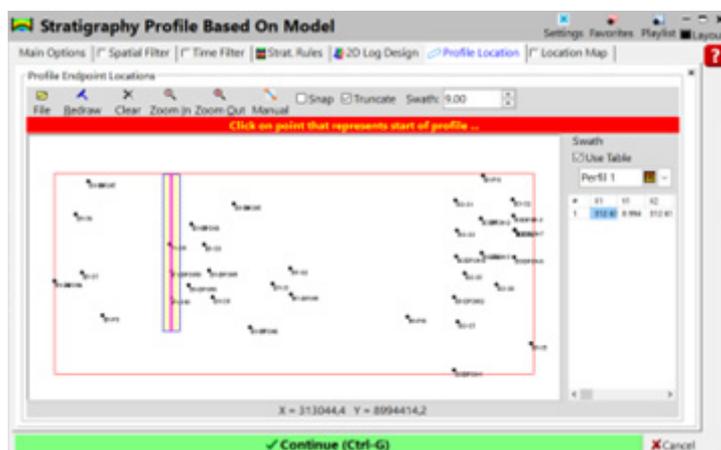
## 2.2. Dimensões da malha

As dimensões da malha condicionam fortemente a qualidade e resolução do modelo. Sendo o Rockworks uma ferramenta que opera com base em elementos finitos, a interpolação das superfícies para além de ser elaborada em função do algoritmo escolhido, é também condicionada pelo número de pontos que constituem cada superfície. Assim, quanto menor o espaçamento, mais fina é a malha, maior o número de pontos disponíveis para considerar no cálculo das superfícies e mais resolução terá o produto final. O programa possui duas opções de ajuste automático, uma em função da área abrangida pela prospeção e outra em função dos dados topográficos introduzidos na Datasheet. Note-se que as dimensões da grid que materializa a superfície topográfica terão de ser as mesmas do modelo.

## 3. Extração de Perfis

Uma das principais vantagens da utilização do Rockworks, reside na extração quase imediata de perfis geológicos e geotécnicos a partir do modelo gerado. A partir da opção “Profile”, possível extrair perfis nas direções pretendidas, intersetando as

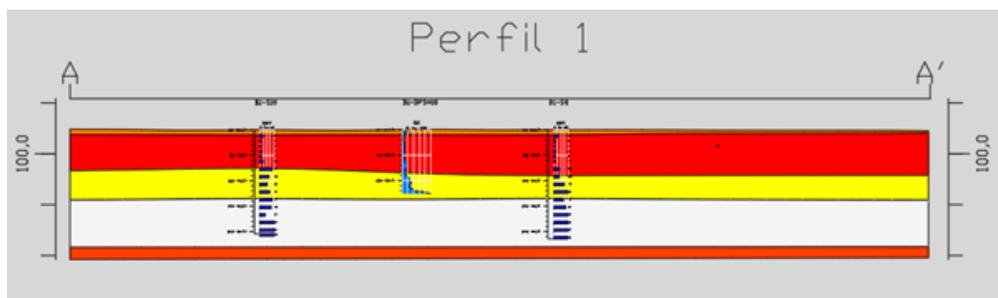
superfícies do modelo existente. A localização do perfil pode ser inserida de forma gráfica desenhando diretamente na planta apresentada (Figura 2) da área que surge no painel de localização do perfil, ou inserida de forma manual, a partir de uma tabela de coordenadas. Durante a extração de perfis, verificou-se uma limitação por parte do programa na execução de perfis curvos.



**Figura 2**  
Painel de localização do perfil. Exemplo de perfil inserido a partir da tabela de coordenadas.

### 3.1. Compatibilidade dos Ficheiros Exportados

O Rockworks possui compatibilidade com diversos programas, permitindo a exportação dos perfis e superfícies obtidas em diversos formatos. Os perfis são exportados para um formato DXF (Figura 3), com cada tipo de atributo na sua respetiva layer.

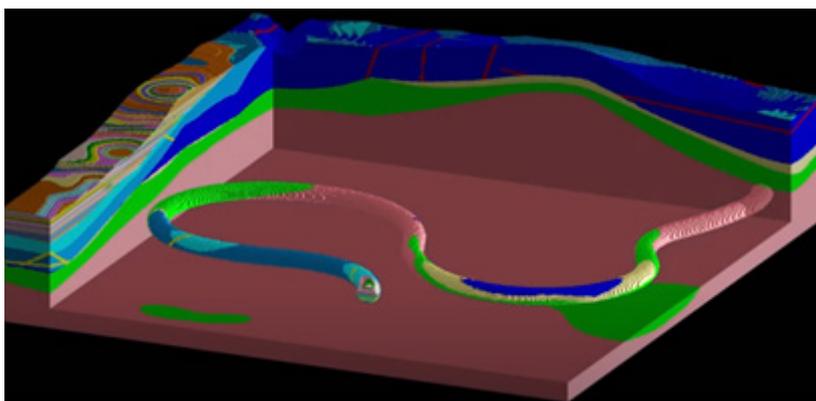


**Figura 3**  
Exemplo de um perfil geológico em formato DXF, com a representação gráfica de duas sondagens e um DPSH.

Relativamente à exportação dos modelos em bloco ou em camadas, esta só é possível em ficheiros ASCII, ou em formato Rwdat (formato específico do Rockworks). Nos modelos elaborados pela COBA, procedeu-se à exportação das superfícies em formato ASCII, para que possam ser integradas numa ferramenta 3D, como o Open Roads (Figura 4) ou o Civil 3D, possibilitando a integração desta informação num formato BIM e a extração de perfis curvos.



Limitações: A primeira limitação identificada foi constatada na topografia e com o facto de se tratar de uma obra linear, pois a topografia existente era demasiado vasta para a área prospetada, aumentando a incerteza da modelação nas condições de fronteira. Para ultrapassar esta condicionante, procedeu-se ao corte da topografia, como retrata a Figura 5, permitindo uma diminuição significativa da área interpolada e a possibilidade de adotar uma malha de menores dimensões, com uma resolução superior, minimizando a incerteza nas condições de fronteira. Outra limitação detetada não relacionada diretamente com o programa, mas com o hardware, residiu no facto da obra em questão ser particularmente extensa, requerendo um elevado nível de memória por parte da máquina para a extração de um perfil longitudinal ao longo da estrutura com elevado grau de detalhe. Sendo isto, considerou-se viável a exportação das superfícies para outro software (OpenRoads) e a partir deste proceder à extração dos cortes de modo a não comprometer a resolução das peças desenhadas. Por fim, a principal limitação identificada não contornável no programa, reside no facto de este não executar cortes curvos, sendo sempre apenas possível a execução deste tipo de cortes constituídos por pequenos segmentos de reta.



**Figura 6**  
Exemplo da função “Tunneling” que permite o cálculo dos volumes de cada formação atravessada pelo túnel.

Vantagens: As vantagens na utilização do programa face aos métodos tradicionais residiram essencialmente na extração imediata de perfis geológicos em variadas direções, de um modo quase de imediato, mantendo a coerência das camadas em caso de interseções. A possibilidade de projetar uma estrutura tubular com as seções desejadas (Figura 6), permitindo estimar valores aproximados do volume de cada tipo de rocha a escavar e visualizar o tipo de solo intersetado pela estrutura constituem vantagens muito significativas aquando da fase de projeto, permitindo inferir com maior rigor e precisão parâmetros e custos estimados.

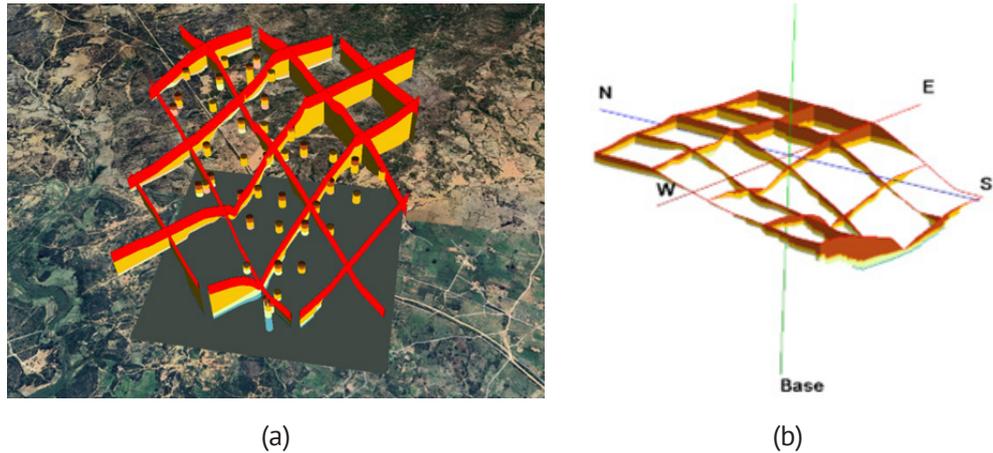
## **Caso 2 – Obras de Infraestruturas**

Este caso remete à construção de uma infraestrutura hidráulica e de um complexo de energia solar constituídos não só pelos principais módulos de estruturas e equipamentos essenciais à funcionalidade do complexo, como por estruturas auxiliares, nomeadamente uma subestação, edifícios administrativos e acessos pavimentados. Do ponto de vista geológico, o cenário ocorrente não apresenta grande complexidade, sendo constituído por formações de natureza sedimentar detrítica, identificadas

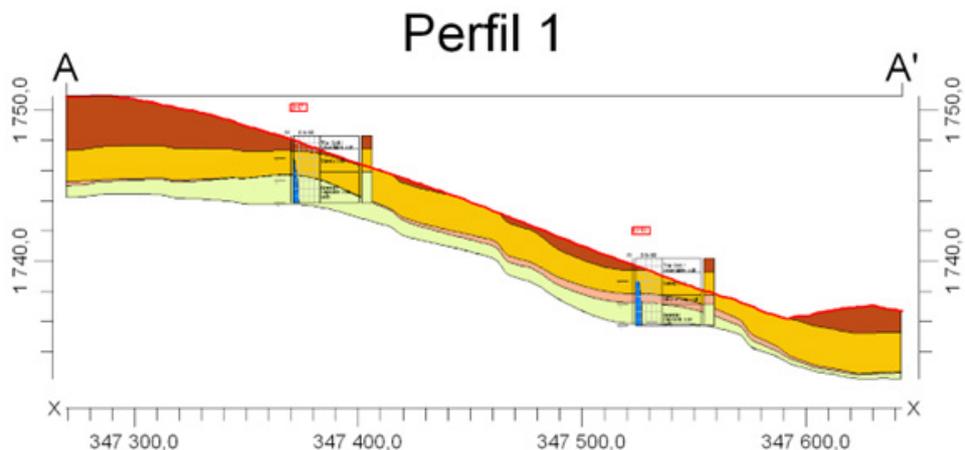
sob a forma de solos residuais compactos a muito compactos. que acabam por se refletir em sondagens na ordem dos 10m de profundidade, com ensaios SPT realizados a cada 1.5m. A construção do modelo geológico e geotécnico teve como objetivo essencial determinar o tipo, modo de cravação e a profundidade a atingir pelas fundações (Figura 7). A construção do modelo teve por base a informação presente num total de 20 sondagens mecânicas, 24 poços, Ensaios de placa, instalação de piezómetros, ensaios de penetração dinâmica superpesada e ainda da interpretação dos ensaios de prospeção geofísica.

**Figura 7**

(a) Vista em diagrama de fence de um modelo geológico sob a vista aérea do Google Earth, e (b) as mesmas secções visualizadas no Rockworks.



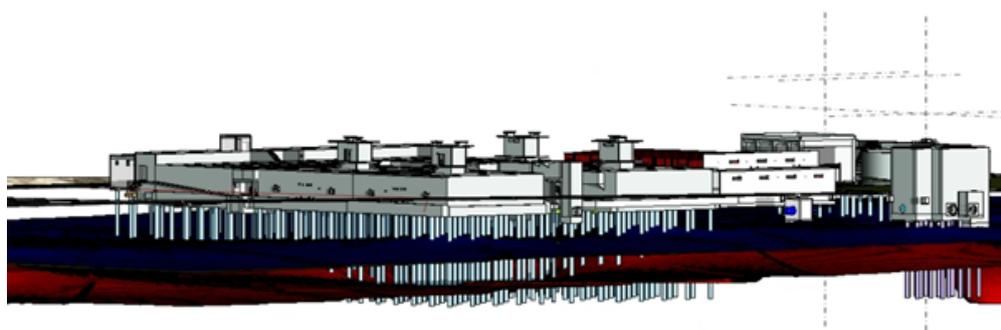
Limitações: As principais limitações observadas neste contexto de utilização residem essencialmente na definição da espessura da camada superficial (Figura 8). A natureza desta limitação reside no facto do algoritmo escolhido para efetuar a interpolação das superfícies efetuar um cálculo geral muito aproximado da realidade, porém não tem em consideração determinadas condições de fronteira específicas que poderão ocorrer no modelo devido à irregularidade da superfície topográfica. Para ultrapassar este problema, o programa dispõe de um menu que nos permite efetuar determinadas operações entre grids (superfícies), sendo possível atribuir um valor específico para situações em que estejam a ocorrer extrapolações na superfície.



**Figura 8**

Exemplo de perfil gerado a partir do Rockworks.

Vantagens: Tratando-se de um meio contínuo homogéneo com uma geometria simples, acaba por integrar as condições mais favoráveis para que o programa execute a interpolação com maior fiabilidade nas zonas onde não existe qualquer dado de entrada (sondagens ou poços). Face ao objetivo do estudo efetuado, a grande vantagem reside na visualização em 3D das interseções e da superfície apta para a implementação das fundações (Figura 9), bem como na interoperacionalidade com o modelo BIM.



**Figura 9**  
Exemplo da visualização em 3D das estruturas com as superfícies do modelo e zonas geotécnicas geradas a partir do Rockworks.

## 6. Conclusões

A utilização do software Rockworks demonstrou elevada eficácia na execução de modelos geológicos 3D em terrenos relativamente planos, porém em terrenos mais acidentados ou com algumas particularidades específicas, surge necessidade de realizar processos ou cálculos entre superfícies ou até mesmo a uma análise de refinamento da malha para o que o programa consiga fornecer os dados com o rigor pretendido.

Observam-se ainda algumas limitações do ponto de vista do utilizador, não tendo sido possível até ao momento a utilização do programa em todos os cenários geológicos e geotécnicos possíveis, assim como explorar todas as funcionalidades do programa.

Embora o software não permita uma obtenção imediata de peças desenhadas como produtos finais, sendo sempre proceder à exportação dos modelos para formato de desenho 2D, destacam-se uma série de aspetos positivos na sua utilização do software face aos métodos tradicionais:

- A extração imediata de perfis;
- Os diferentes modos possíveis de representação da prospeção;
- Visualização em 3D;
- Compatibilidade com diversos softwares (Autocad, OpenRoads, Google Earth), permitindo uma visualização contextualizada e integrada dos elementos, assim como uma visão global e imediata do contexto geológico e geotécnico existente na área.

Com esta ferramenta digital de geração de modelos 3D considera-se muito facilitada a interpretação e interpolação de dados em 3D comparativamente com os métodos tradicionais de produção de modelos, realizados com ferramentas 2D, no qual o processo de interpolação a 3D é difícil, complexo, moroso e potencialmente menos fiável quando existem muitos dados de entrada.

Acresce que a vantagem de produção direta de modelos 3D sobre o 2D torna-se ainda mais evidente e expressiva quando é necessário introduzir mais dados nos modelos, revelando-se muito mais fiável e rápido.

Salienta-se que a fiabilidade de modelos com base em operações de elementos finitos está diretamente relacionada com a quantidade de dados que são introduzidos no modelo, necessitando sempre de uma adequada quantidade de trabalhos de prospeção para a área em estudo. Salienta-se ainda que embora seja mais viável a utilização deste tipo de ferramentas face a métodos tradicionais, pois o erro associado à interpolação de uma superfície com base num modelo matemático é inferior ao erro introduzido aquando dos múltiplos processos a executar por diversos operadores até à obtenção do produto final, a sua utilização carece da presença de um técnico que valide e execute as operações assegurando a coerência dos critérios vigentes.

Desta forma, observa-se que utilização desta metodologia digital apresenta um impacto muito positivo na produtividade, na eficiência e na interoperacionalidade com as restantes componentes do projeto pelo fato de partilharem o mesmo conceito base de geração em 3D.

Por fim, salienta-se que as limitações que ainda ocorrem, nomeadamente associadas à ausência de alguns aspetos de natureza geológica, facilmente introduzidos manualmente em modelos 2D, e a uma interoperacionalidade menos eficiente com modelos BIM, são os desafios específicos enfrentados no desenvolvimento e na implementação destas metodologias digitais, que a seu tempo poderão ser superadas pela melhoria contínua em versões futuras dos software apoiada na interação programador/utilizador.

## Referências

- [1] Manual Rockworks (2013). 2221 East St., Suite 101 Golden, CO 80401 USA. 312p. Disponível em [www.rockware.com](http://www.rockware.com).
- [2] Mitas, L., Mitasova, H. (1999). Spatial Interpolation. In: P.Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, D.W.Rhind (Eds.), *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*, Wiley.

# Avaliação da capacidade de carga de pavimentos aeroportuários – Modelação e digitalização em BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.8>

João Pedro Lima<sup>1</sup>, Simona Fontu<sup>2</sup>,  
Paula Couto<sup>3</sup>, Rodrigo Lima<sup>4</sup>

<sup>1</sup> NOVA FCT, Lisboa, 0009-0004-3082-6388

<sup>2</sup> LNEC e NOVA FCT, Lisboa, 0000-0003-0266-4305

<sup>3</sup> LNEC, Lisboa, 0000-0002-2663-3565

<sup>4</sup> LNEC, Lisboa, 0000-0003-4236-8914

## Resumo

Atendendo às alterações vigentes no que diz respeito à classificação da capacidade de carga de pavimentos aeroportuários, como é o caso da substituição do critério *Aircraft Classification Number* (ACN) – *Pavement Classification Number* (PCN), até agora requerido pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO), pelo critério *Aircraft Classification Rating* (ACR) – *Pavement Classification Rating* (PCR) da mesma organização, sendo importante identificar a correspondência entre estes dois critérios.

Os pavimentos aeroportuários são estruturas que estão em constante evolução, e que requerem intervenções sucessivas. Para além da capacidade de carga, existem diversos critérios que são indicadores do estado do pavimento, e que têm interesse em ser acompanhados ao longo das diversas campanhas de ensaios de campo, de que a estrutura vai sendo alvo.

Numa tentativa de aliar esta atualização do critério de avaliação (de ACN/PCN para ACR/PCR), à proliferação do BIM (*Building Information Modelling*) na engenharia civil, o presente artigo tem como objetivo a caracterização de um modelo que permita a inclusão dos valores destes dois critérios, entre outros critérios estruturais, de maneira a permitir o acompanhamento da evolução do estado das diversas camadas do pavimento de um aeroporto internacional.

## 1. Introdução

No presente estudo, estão descritas as várias fases de caracterização de um pavimento aeroportuário novo, passando pela análise das características mecânicas das diferentes camadas do mesmo. Após a definição destas características, foi possível fazer um modelo BIM do pavimento que permitisse a integração destas características nos elementos do pavimento. A elaboração do modelo passa pela definição dos parâmetros correspondentes às características mecânicas, deduzidas por intermédio da retroanálise previamente realizada, e pela integração desses parâmetros em elementos do tipo *room* e *floor*. O modelo 3D em questão, permite a fácil interpretação do comportamento, estado e características de cada uma das camadas do pavimento, dando também uma percepção da qualidade do trabalho realizado, e um contexto da evolução verificada ao longo do tempo, da estrutura de pavimento analisada, podendo a informação do modelo ser atualizado em qualquer altura, caso novas intervenções sejam feitas no pavimento. Esta possibilidade de atualização da informação, dá ao presente estudo a sua pertinência, já que os pavimentos aeroportuários são estruturas constantemente solicitadas e sujeitas a degradação acelerada. Assim, é de extrema relevância o acompanhamento desta degradação, recorrendo a um modelo BIM como aquele apresentado neste estudo, visto que permite a antecipação dos estados de ruína dos pavimentos, e o planeamento mais antecipado e adequado das medidas que contribuem para a mitigação dos efeitos da degradação, de que estas estruturas são alvo. A visualização 3D da informação também é relevante, facilitando a interpretação da estrutura no espaço, permitindo analisar todas as camadas que compõem o pavimento em profundidade e com extrema facilidade. A definição de parâmetros específicos, tal como exposto neste estudo, permite a caracterização pormenorizada de vários fatores cruciais à análise de infraestruturas deste género.

No caso específico dos pavimentos aeroportuários, a passagem da utilização do critério *Aircraft Classification Number (ACN) - Pavement Classification Number (PCN)*, para o *Aircraft Classification Rating (ACR) - Pavement Classification Rating (PCR)*, no que diz respeito à avaliação da capacidade de carga de pavimentos aeroportuários, requer que a análise pormenorizada destas estruturas seja mais relevante do que nunca.

## 2. Metodologia ACN/PCN e ACR/PCR

O sistema ACN/PCN para classificação dos aviões e da capacidade de carga de pavimentos de aeroportos tem vindo a ser implementado pela International Civil Aviation Organization (ICAO) desde 1980 [1]. De acordo com este método, é possível exprimir o efeito da solicitação produzida por um dado avião num pavimento, através de um único valor numérico – ACN. Este número é determinado em função da configuração do trem de aterragem, da carga por roda, da pressão de enchimento dos pneus, do tipo de pavimento (rígido ou flexível) e da resistência do solo de fundação. A metodologia em questão é aplicável a pavimentos cuja capacidade de carga, ou cujas massas das aeronaves que o solicitam, sejam superiores a 5700kg [5]. A resistência do solo de fundação é expressa em termos de CBR para pavimentos flexíveis,

e em termos do módulo de reação ( $k$ ) para pavimentos rígidos. Por outro lado, a capacidade de carga de um pavimento é também traduzida por um único valor numérico – o seu PCN. Este valor traduz a capacidade de carga de um pavimento em termos da carga máxima admissível que, atuando com uma pressão de enchimento de 1,25 MPa, possa efetuar 10000 recobrimentos. Deste modo, qualquer avião que possua um ACN inferior ou igual ao PCN de um dado pavimento pode operar nele sem quaisquer restrições. A classificação de um pavimento em termos de PCN é feita através de um número (N) seguido de quatro letras que sintetizam a informação que a seguir se discrimina:

- 1) N – valor numérico do PCN;
- 2) A primeira letra traduz o tipo de pavimento, segundo o código:
  - R – Rígido;
  - F – Flexível.
- 3) A segunda letra traduz a classe de resistência do solo de fundação segundo o código:
  - A – Elevada (CBR superior a 13% ou  $k$  superior a 120 MN/m<sup>3</sup>);
  - B – Média (CBR entre 8 e 13% ou  $k$  entre 60 e 120 MN/m<sup>3</sup>);
  - C – Baixa (CBR entre 4 e 8% ou  $k$  entre 25 e 60 MN/m<sup>3</sup>);
  - D – Muito baixa (CBR inferior a 4% ou  $k$  inferior a 25 MN/m<sup>3</sup>).
- 4) A terceira letra traduz a categoria da pressão de enchimento dos pneus de acordo com o código:
  - W – Elevada (sem limite);
  - X – Média (limitada a 1,5 MPa);
  - Y – Baixa (limitada a 1,0 MPa);
  - Z – Muito baixa (limitada a 0,5 MPa).
- 5) A quarta letra representa o método utilizado para a determinação do PCN, de acordo com o código:
  - T – Analítico;
  - U – Empírico.

A atribuição de classes de fundação aos pavimentos flexíveis é efetuada com base na correlação  $E$  (MPa) = 10 x CBR, tendo em atenção os módulos de deformabilidade determinados para a camada superior de solo de fundação.

Relativamente ao método ACR/PCR, a classificação é em tudo semelhante, variando apenas os pressupostos em que o método se baseia. Neste método, o módulo do solo de fundação, ao invés de ser expresso em CBR, é expresso diretamente em módulo de Young,  $E$  (MPa), acabando por ser um método menos conservativo do que o ACN/PCN, conhecido por levar ao sobre dimensionamento das estruturas de pavimento. Além

disso, o método ACR/PCR, tem já em consideração estruturas de trem de aterragem mais complexas, algo que não era considerado no método anteriormente usado [4].

### 3. Caso de estudo

#### 3.1. Descrição

O caso de estudo consiste na análise dos pavimentos de um aeroporto localizado fora de Portugal, em fase de construção, sendo os resultados obtidos relativos a pavimentos novos. O aeroporto em questão tem duas pistas, diversos caminhos de circulação, e pavimentos tanto rígidos, constituídos por lajes de betão, como semirígidos, que apresentam à superfície camadas de regularização e de desgaste em misturas betuminosas. No caso exposto no presente estudo, foi analisada apenas um troço correspondente a uma das pistas do aeroporto, constituída por um pavimento do tipo semirrígido. Para efeitos de cálculo de ACN/PCN e de ACR/PCR foi considerado o pavimento em questão como flexível, sendo denominado assim no âmbito deste estudo, dado que os programas automáticos de cálculo não têm previstas as estruturas de tipo semirrígido.

A pista em questão tem 45m de largura, sendo constituída por um total de 5 camadas em profundidade, três delas em misturas betuminosas, com funções de desgaste e regularização, uma camada em agregado britado de granulometria extensa tratado com cimento (AGEC), com funções de base, caracterizada pela sua elevada resistência e módulo de elasticidade, e finalmente, uma camada de brita solo-cimento (BSC), com funções de sub-base, que se encontra localizada no topo do solo de fundação.

#### 3.2. Ensaios de carga

O pavimento estudado foi sujeito a ensaios de carga realizados recorrendo ao defletómetro de impacto pesado (*Heavy Falling Weight* – HWD), tendo sido utilizado o equipamento PRIMAX 2500. O equipamento aplica uma carga de 240 kN no pavimento, efetuando em cada ponto ensaiado três impactos sucessivos, sendo que o primeiro não é considerado na análise, uma vez que este se destina ao ajustamento da posição da placa sobre a superfície.

Em cada ensaio foram medidas nove deflexões decorrentes da força de impacto, em pontos situados a 0m, 0,30m, 0,45m, 0,60m, 0,90m, 1,20m, 1,50m, 1,80m e 2,10m do centro da placa de carga (que correspondem, respetivamente, às deflexões designadas por D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8 e D9).



**Figura 1**  
Defletómetro de impacto durante a realização dos ensaios.

No caso do pavimento das pistas, os ensaios foram realizados ao longo de cinco alinhamentos longitudinais paralelos, um dos quais coincidente com o eixo da pista, e os restantes paralelos a este, distanciados do centro de 3m e 10m, à direita e à esquerda do eixo da pista. A distância entre pontos de ensaio foi de 100m nos três alinhamentos centrais (desfasados de 50 metros) e de 200m nos restantes alinhamentos.

Após a obtenção das deflexões, derivadas do ensaio de defletómetro de impacto pesado, foi realizado um zonamento das diversas pistas, caminhos de circulação e plataformas de estacionamento do aeroporto, com a intenção de estabelecer zonas que demonstram ter um comportamento estrutural semelhante. Estas zonas foram definidas atendendo às deflexões obtidas nos ensaios de carga e o tipo de estruturas de cada pavimento. As zonas que demonstraram ter deflexões da mesma ordem de grandeza, à partida, apresentam comportamento estrutural semelhante, sendo que os materiais e as espessuras das camadas que as constituem são semelhantes também. A totalidade do aeroporto foi dividido em 25 zonas distintas, 11 em pavimento flexível e 14 em pavimento rígido.

Após a definição das diversas zonas, é feita uma análise estatística das zonas em questão onde é definido o percentil 85 ( $D^{85\%}$ ), de todas as medições obtidas nos alinhamentos considerados em cada zona. As deflexões correspondentes a cada geofone deste ponto fictício, permitem escolher o ponto medido representativo, como sendo o ponto medido com deflexões mais próximas possíveis das calculadas para o percentil 85 [2].

Depois do processo de zonamento e de ter sido escolhido o ponto representativo, foi realizada uma retroanálise, recorrendo a um programa de cálculo que considera o comportamento elástico linear das camadas (*BISAR 3.0*) [3]. Com o recurso a este programa de cálculo automático, foi efetuado um processo iterativo, que consistiu em determinar o conjunto de módulos de deformabilidade das camadas, que conduzia a uma deformada calculada, que fosse próxima da deformada correspondente ao ponto característico anteriormente definido. Após a determinação dos módulos

finais, tornou-se possível o cálculo do PCN, através da determinação da primeira camada a entrar em rotura.

No que diz respeito ao PCR, o mesmo foi calculado recorrendo ao programa de cálculo automático criado pela *Federal Aviation Administration (FAA)*, o *FAARFIELD 2.1.1*. Através da definição das diversas camadas de pavimento e das suas características, nomeadamente os módulos calculados anteriormente para cada camada, o *software* em questão devolve o valor de PCR correspondente, para um tráfego definido previamente na interface do programa [6].

### 3.3. Escolha da secção de modelação

Neste estudo, foi considerada uma das pistas do aeroporto em questão, tendo sido modelado um troço de 600m de comprimento da mesma, troço este onde estão contempladas duas zonas de comportamento estrutural distinto, possuidoras de características estruturais diferentes.

## 4. Modelo BIM

No modelo foram consideradas as diversas camadas de pavimento realizadas na fase de obra. Foram modeladas camadas de 3 tipos, em função do material constituinte: Misturas betuminosas (AC – asphalt concrete, AC 16, AC 20 e AC 25, SMA – stone mastic asphalt), camadas granulares tratadas com cimento (AGEC e BSC), e solo de fundação. Cada uma destas camadas é possuidora de uma espessura distinta. No quadro seguinte são exibidas as espessuras de cada camada analisada, para cada uma das duas zonas a modelar.

Tabela 1: Estruturas de pavimento em cada zona analisada.

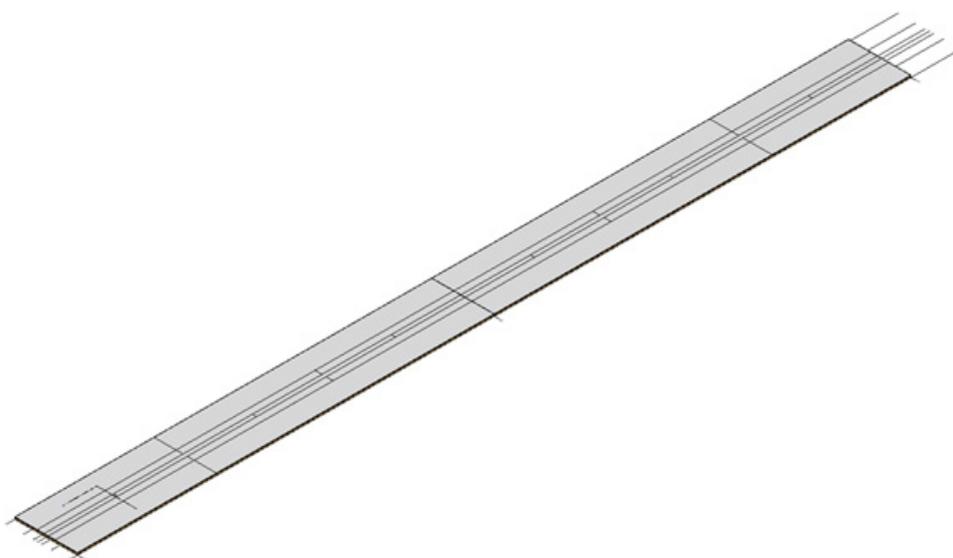
Zona	Valor característico 85% ( $\mu\text{m}$ )	Estrutura de pavimento (cm)			
		AC 16	AC20 + AC25	AGEC	BSC
Pista 4E Zona 1	347	7	10	23,5	21
Pista 4E Zona 2	291	7	10	23,5	21

A secção de pista modelada encontra-se dividida em dois troços, troços esses correspondentes a zonas que, de acordo com o zonamento efetuado em fase de estudo, demonstraram ter comportamentos estruturais distintos. O primeiro troço correspondente à primeira zona de comportamento estrutural, corresponde à zona compreendida entre os 1600m e os 1900m de comprimento de pista. O segundo troço em questão correspondente à segunda zona de comportamento estrutural, corresponde à zona compreendida entre os 1900m e os 2200m.

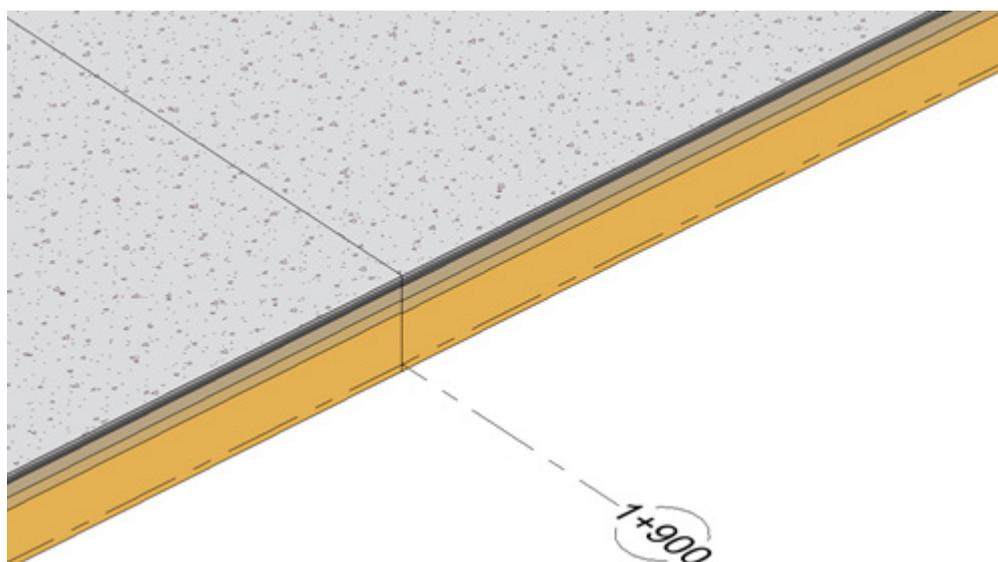
No modelo BIM elaborado no presente estudo, foi apenas modelada a parte resistente da pista, deixando de parte as bermas, visto que os ensaios realizados não abrangeram essa parte do pavimento da pista.

O modelo foi feito recorrendo ao programa *Revit*. De maneira a representar os alinhamentos ao longo dos quais foram realizados os ensaios de carga, foram criadas 5 linhas de *grid*: uma linha correspondente ao centreline (eixo da pista), outras duas correspondentes aos 10m à direita e à esquerda do centreline, e as últimas duas correspondentes aos 3m à direita e à esquerda do centreline.

Na Figura 2 e na Figura 3 são apresentadas vistas 3D da pista modelada, e um pormenor da região da pista onde existe transição de zonas e mudança de espessuras de camadas do pavimento da pista.



**Figura 2**  
Vista superior da pista modelada.

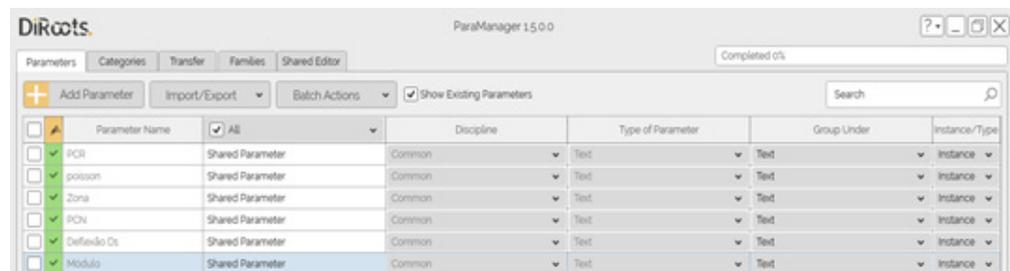


**Figura 3**  
Vista em corte da zona de transição.

Esta divisão implica que, em cada uma destas zonas, os valores dos diversos parâmetros estruturais definidos sejam distintos.

A introdução destes parâmetros no modelo, foi feito com recurso ao *plugin DiRoots*, que funciona como um gestor paramétrico, agilizando o processo. O *plugin* em causa permite a discretização dos parâmetros inseridos, em função do seu tipo, tornando possível a associação de diferentes características ao mesmo elemento, e permitindo a edição fácil e rápidas dos parâmetros inseridos. Este *plugin* permite também a importação de listas de *excel* para o *software* BIM a ser utilizado, permitindo a transformação dessas listas de *excel* em ficheiros de parâmetros a implementar no modelo. Para além disso, este *plugin* torna possível a transferência e modificação de parâmetros em várias famílias, sem obrigar à edição dessas famílias separadamente, tornando o processo muito mais expedito. Na Figura 4 pode ser observada a interface do *DiRoots*, e os parâmetros definidos no caso de estudo a ser analisado.

**Figura 4**  
Parâmetros definidos no DiRoots.



Foram considerados como parâmetros, as seguintes grandezas físicas características de cada camada de pavimento: coeficiente de Poisson, módulo de elasticidade medido, e zona a que a camada em questão pertence. Estes parâmetros foram definidos para cada um dos *floors* correspondentes às diversas camadas.

Além destes parâmetros, foi também considerado como parâmetro na camada em misturas betuminosas do pavimento (camada superior), o valor do PCN e PCR obtido para a pista em questão.

Na Tabela 2 e na Tabela 3, encontram-se resumidos os valores incluídos como parâmetros para o Coeficiente de Poisson e para o Módulo de Elasticidade nas diversas camadas, respetivamente.

Tabela 2: Valores de Coeficiente de Poisson para cada material constituinte da pista.

	AC 16	AC 20 + AC25	AGEC	BSC	Fundação
Pista 4E	0.35	0.35	0.25	0.30	0.40

Tabela 3: Valores do Módulo de Elasticidade (MPa) para cada material constituinte da pista.

	AC 16	AC 20 + AC25	AGEC	BSC	Fundação
Pista 4E Zona 1	400	2600	24000	3850	185
Pista 4E Zona 2	400	2600	24000	4200	230

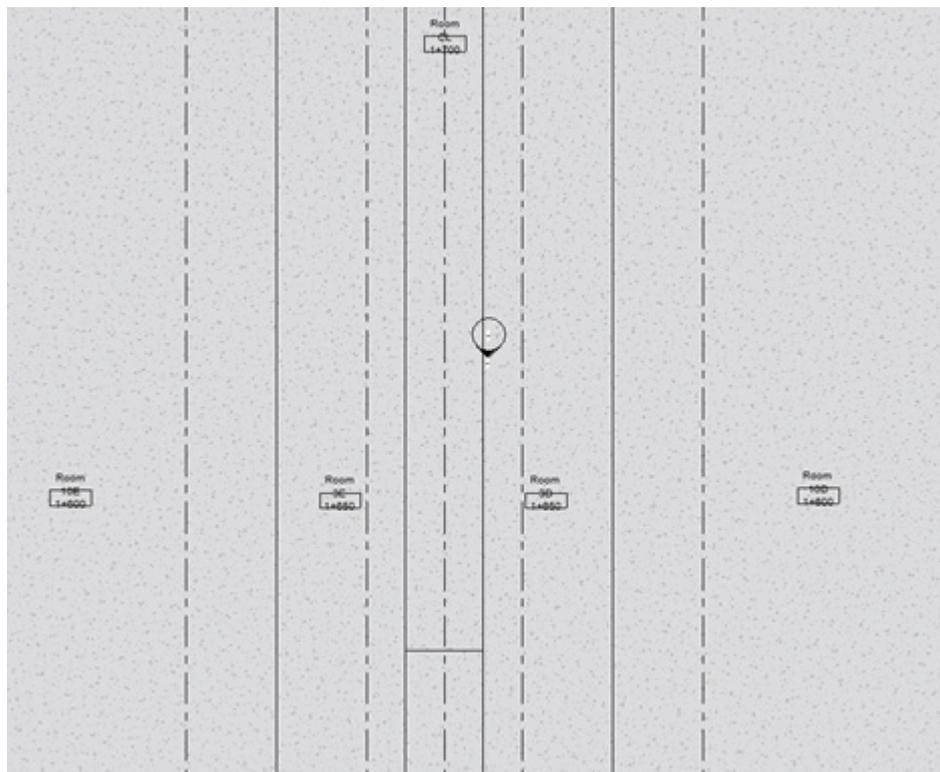
<Floor Schedule 6>					
A	B	C	D	E	F
Type	Zona	Módulo de Elasticidade	Poisson	PCN	PCR
SMA 16 SBS - 7cm	1	400	0.35	59/FIA/WIT	792/FIA/WIT
AC-20 BETÃO BETUMNOSO - 5cm	1	2600	0.35	-	-
AC-25 BETÃO BETUMNOSO - 5cm	1	2600	0.35	-	-
AGEC - 23.5cm	1	24000	0.25	-	-
BRITA SOLO CIMENTO - 21cm	1	3850	0.30	-	-
SOLO DE FUNDAÇÃO	1	185	0.40	-	-
SMA 16 SBS - 7cm	2	400	0.35	71/FIA/WIT	618/FIA/WIT
AC-20 BETÃO BETUMNOSO - 5cm	2	2600	0.35	-	-
AC-25 BETÃO BETUMNOSO - 6cm	2	2600	0.35	-	-
AGEC - 24.5cm	2	24000	0.25	-	-
BRITA SOLO CIMENTO - 21cm	2	4200	0.30	-	-
SOLO DE FUNDAÇÃO 2	2	230	0.40	-	-

**Figura 5**  
Dados inseridos nos floors da pista.

Na Figura 5 encontram-se os valores dos dados inseridos em cada um dos *floors* da pista.

Para além destas grandezas físicas, foi também incluído como parâmetro a deflexão medida no geofone D1. De maneira a conseguir incorporar esta informação, foram criados *rooms* ao longo da camada de desgaste do pavimento. O ponto central de cada um dos *rooms* corresponde ao ponto onde o ensaio de carga foi feito, e onde foi medida a deflexão incluída como parâmetro.

Na Figura 6 consegue ser observado um pormenor da divisão em *rooms* efetuada.



**Figura 6**  
Vista superior dos rooms definidos na pista.

Na Figura 7, podem ser observados os valores de deflexão obtidos para cada um destes *rooms* e a escala de cores considerada.

**Figura 7**

Valores de deflexão em cada room e escala de cores considerada.

<Room Schedule 6>	
A	B
Number	Deflexão D1
CL 1+600	292
CL 1+700	278
CL 1+800	305
CL 1+900	274
CL 2+000	280
CL 2+100	245
CL 2+200	236
3D 1+650	291
3D 1+750	242
3D 1+850	331
3D 1+950	260
3D 2+050	228
3D 2+150	252
3E 1+650	318
3E 1+750	290
3E 1+850	319
3E 1+950	282
3E 2+050	261
3E 2+150	231
10E 1+600	311
10E 1+800	387
10E 2+000	273
10E 2+200	233
10D 1+600	259
10D 1+800	343
10D 2+000	233
10D 2+200	242

Deflexões D1 ( $\mu\text{m}$ )	
	: 200 - 230
	: 231 - 260
	: 261 - 290
	: 291 - 320
	: 321 - 350
	: 351 - 380
	: 381 - 410

De maneira a conseguir perceber a adequação ou não do valor medido para estes parâmetros, e tornar possível a comparação dos valores obtidos para as distintas camadas, foi incluída no modelo uma escala de cores que permite facilitar a compreensão e análise destas grandezas no modelo em questão.

## 5. Conclusão

Tendo em conta a atualização das metodologias empregues na engenharia civil, derivadas da proliferação do BIM nesta área, a implementação desta tecnologia em situações como a descrita no caso de estudo é relevante e facilita substancialmente a monitorização de estruturas frequentemente ensaiadas, e cuja degradação ao longo do tempo, nos dias que correm, passa muitas vezes despercebida. A informação que foi incluída no modelo, tornou possível não só a compreensão do estado atual dos pavimentos, como deixa a porta aberta à incorporação de dados relativos a campanhas de ensaio futuras. Com a implementação do método ACR/PCR, e o cessar da utilização do método até agora em vigência, o ACN/PCN, é relevante perceber a correspondência e assegurar o cumprimento deste novo critério para estruturas de pavimento já existente, mas ainda não avaliadas segundo este novo parâmetro.

Além das características avaliadas no modelo BIM exposto, constata-se que o mesmo permite facilmente a incorporação de outros parâmetros comumente avaliados em pavimentos, como é o caso da irregularidade longitudinal, atrito, ou até mesmo avaliação da textura das camadas de misturas betuminosas. Esta informação pode

ser acrescentada ao modelo com grande facilidade, provando a adaptabilidade do método exposto, a outras situações da área de avaliação de pavimentos.

## Referências

- [1] FAA – “Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength – PCN”, AC No: 150/5335-5C Advisory Circular, Federal Aviation Administration, 2014.
- [2] M.d.L Antunes, 1993 "Avaliação da capacidade de pavimentos utilizando ensaios dinâmicos" Tese de Doutoramento desenvolvida no LNEC e apresentada para a obtenção do Grau de Doutor pelo Instituto Superior Técnico, outubro de 1993.
- [3] S. Fontul, Simona, 2004 "Structural Evaluation of Flexible Pavements using Non-Destructive Tests." Tese de Doutoramento desenvolvida no LNEC e apresentada para a obtenção do Grau de Doutor pela Universidade de Coimbra, Lisboa, novembro de 2004.
- [4] FAA – “Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength – PCR”, AC No: 150/5335-5D Advisory Circular, Federal Aviation Administration, 2022.
- [5] ANAC – "Regulamento sobre a classificação da capacidade de carga de pavimentos aeronáuticos através da utilização da metodologia ACN/PCN", Ministério da Economia e do Emprego, 2012.
- [6] D.R. Brill – "ACR/PCR Overview" apresentado a REDAC Subcommittee on Airports, Março 2020



# Modelo dinâmico para projetos básicos de estações elevatórias de esgoto

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.9>

**Arthur Silva<sup>1</sup>, Leandro Dias<sup>1</sup>,  
Sergio Nagima<sup>1</sup>, Sergio Pontes<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> TPF Engenharia, Recife, Brasil.

## Resumo

Neste estudo, apresentamos a aplicação do algoritmo Dynamo integrado ao software Revit para otimizar projetos básicos de estações elevatórias de esgoto em BIM. A TPF Engenharia enfrentou o desafio de criar 40 projetos básicos de estações elevatórias de esgoto (EEEs) em apenas 90 dias, visando obter estimativas de materiais e equipamentos para orçamentos e licitações. Nosso objetivo primordial era automatizar a elaboração dos projetos básicos através de linguagem de programação visual Dynamo integrado ao Revit. A metodologia incluiu a parametrização de elementos do projeto, como diâmetro e profundidade dos poços, nível do terreno e afastamento das estruturas. Com o Dynamo, conseguimos realizar a interpretação dos parâmetros do projeto e a criação dos projetos básicos das estações elevatórias de esgoto (EEEs), incluindo elementos gráficos, tabelas de quantidades e identificação de componentes de forma parcialmente automática. Nossa solução permitiu a extração de 40 projetos básicos de estações elevatórias de esgoto (EEEs) com poucos ajustes na planilha, seguindo a rotina de projeto habitual. A metodologia aplicada resultou em um notável aumento de produtividade e qualidade dos resultados, possibilitando atender as necessidades do cliente dentro do prazo e despertar interesse quanto ao fluxo de trabalho executado. O fluxo de trabalho otimizou o processo de criação de projetos básicos de estações elevatórias de esgoto em BIM, proporcionando à TPF Engenharia uma vantagem competitiva no mercado.

## 1. Introdução

A utilização do *Building Information Modeling* (BIM) tem se tornado cada vez mais presente na indústria da construção civil, proporcionando uma abordagem integrada e colaborativa para o desenvolvimento de projetos. Neste contexto, as estações elevatórias de esgoto (EEEs) representam um desafio significativo devido à sua complexidade e importância para o sistema de saneamento básico. O presente estudo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um modelo dinâmico parametrizado para otimização de projetos básicos de estações elevatórias de esgoto (EEEs) utilizando o algoritmo Dynamo integrado ao software Revit. A aplicação dessa abordagem permite automatizar a interpretação dos parâmetros do projeto, a criação dos projetos básicos e a geração de elementos gráficos e tabelas de quantidades de forma mais eficiente e precisa.

A metodologia BIM tem sido amplamente adotada na indústria da construção para melhorar a eficiência e a qualidade dos projetos. No contexto das estações elevatórias de esgoto (EEEs), o uso do BIM oferece diversas vantagens, tais como a visualização tridimensional do projeto, a detecção de conflitos entre os diferentes sistemas e a análise de desempenho. Além disso, o BIM permite a integração de informações de diferentes disciplinas, como arquitetura, estrutura e instalações hidromecânicas, facilitando a coordenação e a comunicação entre os profissionais envolvidos no projeto. Isso resulta em uma redução de erros e retrabalhos, além de um aumento na eficiência e na produtividade durante todas as fases do empreendimento. No entanto, é importante ressaltar que o uso do BIM em projetos de estações elevatórias de esgoto (EEEs) ainda é um campo em desenvolvimento, com desafios específicos a serem superados. A complexidade dos sistemas de esgoto, a necessidade de integração com outros sistemas de saneamento e a falta de padronização são alguns dos desafios enfrentados pelos profissionais que buscam implementar o BIM nesse contexto. Diante desse cenário, o desenvolvimento de um modelo dinâmico parametrizado para projetos básicos de estações elevatórias de esgoto (EEEs), utilizando o algoritmo Dynamo integrado ao software Revit, surge como uma alternativa. Esse modelo permite a automatização de tarefas repetitivas e a geração de projetos mais precisos e eficientes, contribuindo para a melhoria do processo de projeto e para a otimização dos recursos disponíveis. No próximo tópico, será apresentada uma revisão da literatura sobre o uso de BIM em projetos de estações elevatórias, destacando os principais estudos e avanços nessa área.

## 2. Revisão da Literatura

O uso do BIM em projetos de estações elevatórias de esgoto tem sido objeto de estudo e aplicação em diversos trabalhos científicos. A literatura existente destaca os benefícios e as vantagens dessa abordagem, bem como os desafios e as limitações a serem superados. Um estudo realizado por Silva [1] explorou a aplicação do BIM no projeto de uma estação elevatória de esgoto, utilizando o software Revit. Os autores destacaram que o uso do BIM permitiu uma melhor visualização e compreensão

do projeto, além de facilitar a detecção de interferências e a coordenação entre as disciplinas envolvidas. Outro estudo relevante foi conduzido por Santos [2], que investigaram a aplicação do BIM na modelagem e simulação hidráulica de estações elevatórias de esgoto. Os resultados mostraram que o uso do BIM possibilitou uma análise mais precisa do comportamento hidráulico das estruturas, contribuindo para a otimização do dimensionamento e a identificação de possíveis problemas antes da construção.

Além disso, um estudo de caso realizado por Oliveira [3] abordou a aplicação do BIM na gestão de projetos de estações elevatórias de esgoto. Os autores destacaram que o uso do BIM permitiu uma melhor coordenação entre as equipes de projeto, reduzindo erros e retrabalhos, além de facilitar a comunicação com os stakeholders envolvidos no projeto. Esses estudos evidenciam que o uso do BIM em projetos de estações elevatórias de esgoto traz benefícios significativos, como a melhoria da eficiência, a redução de erros e retrabalhos, a otimização do dimensionamento hidráulico e a facilitação da comunicação entre as equipes de projeto. No entanto, também são apontadas algumas limitações, como a necessidade de capacitação dos profissionais envolvidos e a falta de padronização nas diretrizes e normas para a modelagem de estações elevatórias de esgoto (EEEs) em BIM.

Diante desse panorama, o presente estudo busca contribuir para a ampliação do conhecimento sobre o uso do BIM em projetos de estações elevatórias de esgoto (EEEs), por meio do desenvolvimento de um modelo dinâmico. Acreditamos que essa abordagem pode trazer benefícios para o setor de saneamento básico, proporcionando maior eficiência e qualidade nos projetos de estações elevatórias de esgoto (EEEs).

### 3. Metodologia

A metodologia adotada para desenvolver o modelo dinâmico destinado aos projetos básicos de estações elevatórias de esgoto (EEEs) foi estruturada e baseada em etapas bem definidas.

A parametrização é um processo fundamental dentro desta metodologia, visando otimizar a produtividade e garantir a eficiência na elaboração de projetos complexos. Essa abordagem segue um conjunto de passos essenciais para automatizar tarefas repetitivas e maximizar o tempo de produção. A sequência foi seguida de forma objetiva. O primeiro passo consiste na identificação cuidadosa dos elementos-chave do projeto, como estruturas, equipamentos e parâmetros essenciais para o seu funcionamento. A partir dessa identificação, é realizada a parametrização desses elementos, onde variáveis como dimensões, capacidades e características específicas são definidas de forma dinâmica e adaptável. Em seguida, é desenvolvido um script em linguagem de programação visual, integrado ao modelo de projeto, que permite a interação direta com os parâmetros inseridos nos elementos parametrizados. Esse script atua como uma ponte entre o modelo e o usuário, possibilitando ajustes e atualizações automáticas com base nas necessidades do projeto. A utilização deste método proporciona um ganho significativo no tempo de produção, garantindo

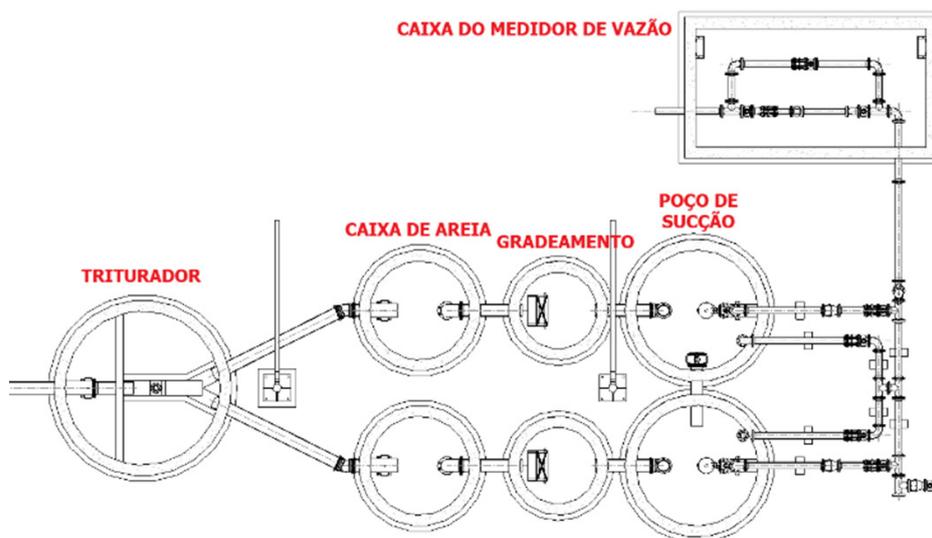
maior eficiência e precisão na elaboração de projetos de infraestrutura. Ao unir a identificação dos elementos-chave, a parametrização detalhada e a criação de um script integrado ao modelo, se obtém uma solução abstrata para a automação de projetos, adaptável a diferentes contextos e necessidades específicas da engenharia de infraestrutura.

Com base nesta metodologia se fez necessário parametrizar elementos-chave do projeto que incluem as estruturas do poço do triturador, a caixa de areia, a caixa de gradeamento, o poço de sucção e a caixa do medidor de vazão (Conforme o exemplo da Figura 3). A parametrização desses elementos é crucial e pode trazer diversos benefícios, como a redução da dependência de intervenções manuais no projeto, e o aumento da precisão nas operações e a melhoria na eficiência global do projeto.

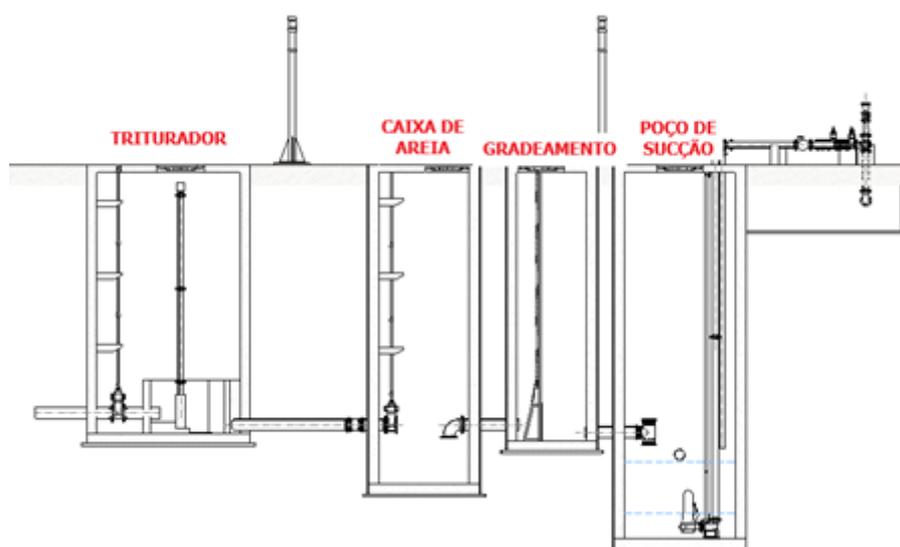
Inicialmente, foram discutidos quais as vazões máximas e mínimas que as elevatórias atenderiam, tipologias e formatos, no qual se chegou no modelo de aplicação do tipo: (1) poço úmido, (2) com regime de funcionamento 1+1, (3) conjuntos motobomba submersíveis e (4) com 2 poços de sucção. A faixa máxima de vazão de uma unidade parametrizada a partir deste modelo é de 100,0 l/s e a profundidade máxima do poço do triturador é de 6,00 metros.

Tabela 1: Tipologia e dimensionais das EEEs.

Tipo	Faixa de Vazão (l/s)	Triturador Ø(m)	Caixa de Areia Ø(m)	Gradeamento Ø(m)	Sucção Ø(m)	Chegada na EEE Ø(mm)	Barrilete Ø(mm)	Recalque Ø(mm)
01	0 - 5,0	2,50	1,50	1,20	2,00	200	100	100
02	5,1 - 15,0	2,70	1,70	1,40	2,20	200	100	100
03	15,1 - 25,0	3,50	2,50	2,20	3,00	300	150	150
04	25,1 - 35,0	4,10	3,10	2,80	3,60	300	150	200
05	35,1 - 50,0	4,50	3,50	3,20	4,00	300	200	250
06	50,1 - 65,0	4,50	3,50	3,20	4,00	400	200	250
07	65,1 - 100	5,00	4,00	3,70	4,50	400	250	300



**Figura 1**  
Esquema de disposição das estruturas da EEE em planta.



**Figura 2**  
Esquema de disposição das estruturas da EEE em corte.

O processo de parametrização ocorre no software BIM escolhido (Revit/Dynamo), onde variáveis como dimensões e capacidades são definidas. Essa etapa é fundamental para permitir que os elementos do modelo se ajustem dinamicamente, respondendo às especificidades do projeto de forma automática.

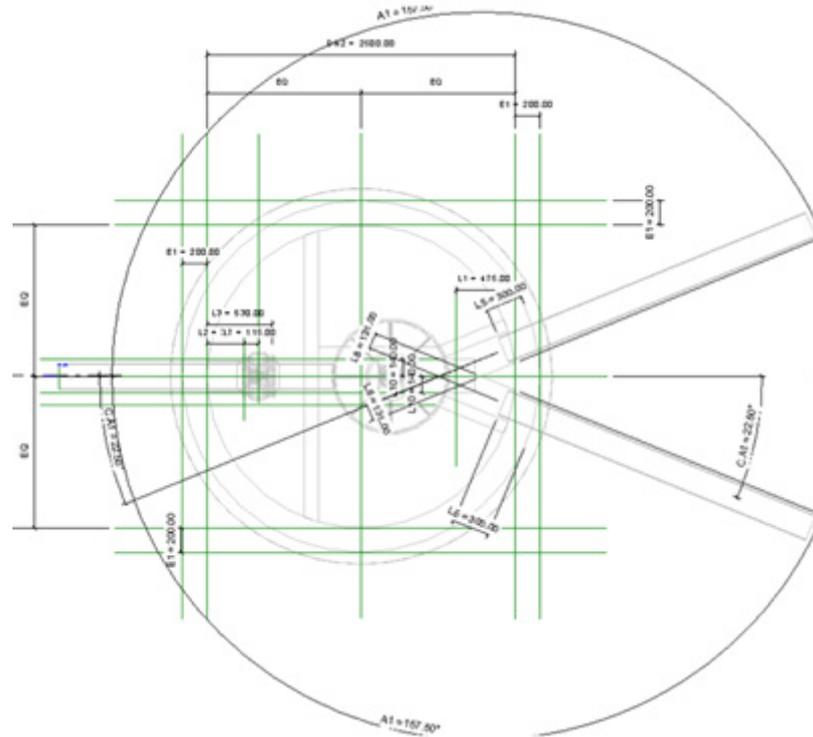
Foram modelados 7 tipos básicos dessas estações elevatórias de esgoto (EEEs) no mesmo arquivo, identificando os parâmetros relevantes de acordo com normas técnicas e diretrizes específicas aplicáveis a estas estações, como diâmetro e profundidade dos poços, cota do nível d'água e vazão de esgoto. Esses parâmetros direcionaram o desenvolvimento das famílias parametrizadas e os parâmetros globais no Revit, conforme a figura 3, em seguida foi desenvolvido o script no Dynamo.

O script foi programado para gerar automaticamente os projetos básicos de estações elevatórias de esgoto (EEEs) no Revit, baseado em 3 informações que ele busca em uma planilha de Excel, que são: vazão de projeto, cota do terreno nivelado e cota de geratriz inferior do tubo de entrada, com base na vazão do projeto ele verifica qual o tipo da elevatória e altera os parâmetros criando estruturas como poços, tubulações, bombas e válvulas de acordo com os parâmetros definidos.

A validação do modelo dinâmico foi realizada por meio de comparações com projetos manuais, incluindo análises de precisão, eficiência, dimensionamento hidráulico, quantitativos de materiais e tempo de execução. Esse processo iterativo permitiu ajustes para garantir a funcionalidade e confiabilidade do modelo. Os testes e ajustes foram conduzidos com base em feedbacks de especialistas da área de engenharia sanitária, resultando em iterações e melhorias no script Dynamo. Por fim, o modelo dinâmico foi documentado em um manual de operações, detalhando o uso do script Dynamo para a geração de projetos básicos de estações elevatórias de esgoto (EEEs), incluindo informações sobre requisitos de software, configurações e procedimentos de instalação.

**Figura 3**

Esquema de disposição das estruturas da EEE em corte.



### 3. Execução da rotina

Antes da implementação da rotina automatizada, nossas equipes operavam em paralelo: uma dedicada à elaboração manual dos projetos e outra focada no desenvolvimento de soluções em dynamo. A equipe encarregada da abordagem manual necessitava aproximadamente de dois dias para concluir um projeto, partindo de um modelo pré-estabelecido. Esse processo era frequentemente interrompido por solicitações de ajustes na localização desses mesmos projetos, o que implicava em modificações nas informações fundamentais, como cotas de terreno e cotas de chegada de tubulação. Essas alterações demandavam uma revisão e reexecução do trabalho, resultando em retrabalho significativo e afetando adversamente a qualidade das entregas. Devido à natureza manual do processo, estava suscetível a erros nas modificações, além de comprometer a eficiência e a qualidade do trabalho diante da necessidade de cumprir prazos mais apertados após os ajustes. Após a implementação e subsequente conclusão da rotina no Dynamo, a equipe encarregada de testar a nova ferramenta registrou avanços notáveis em termos de eficiência temporal e aprimoramento na qualidade das entregas. Antes da adoção desta solução inovadora, o processo de desenvolvimento de projetos era caracterizado por uma demanda de tempo substancialmente maior, acompanhada por uma susceptibilidade a erros decorrente da intervenção humana. Com a integração da rotina automatizada no Dynamo, observou-se uma redução drástica no tempo necessário para o desenvolvimento de projetos completos, alcançando um impressionante marco de até 5 minutos ou menos para a conclusão de um projeto, dependendo exclusivamente da capacidade de processamento do hardware em uso. Esta melhoria significativa na eficiência operacional deve-se à simplificação do processo, onde a equipe agora é requerida a

fornecer apenas três informações fundamentais: a vazão do projeto, a cota do terreno e a cota da geratriz inferior do tubo, conforme detalhado na Tabela 2. A automatização proporcionada pela rotina do Dynamo eliminou a necessidade de entradas manuais repetitivas e propensas a erro, substituindo-as por um sistema robusto que assegura a atualização automática de todos os dados relevantes e textos dos projetos. Além do impacto positivo sobre o tempo de desenvolvimento, a qualidade das entregas foi extraordinariamente beneficiada. A precisão alcançada com a automação resultou em uma eliminação completa de erros nas entregas finais. O sistema desenvolvido atualiza todos os dados e textos relacionados ao projeto automaticamente, sem a necessidade de intervenção direta do operador, garantindo uma precisão inigualável e eliminando o risco de inconsistências nos projetos finais.

Essa transformação não somente realçou a eficiência e a eficácia da equipe mas também representou um avanço significativo em termos de otimização de recursos e melhoria contínua de processos. Ao minimizar a margem de erro e reduzir o tempo de desenvolvimento, a implementação da rotina no Dynamo pavimentou o caminho para uma abordagem mais sustentável e produtiva no desenvolvimento de projetos, estabelecendo um novo padrão de excelência dentro da organização.

Tabela 2: Planilha de Dados de Entrada.

Vazão de Projeto	5,00	L/s
Cota do Terreno Nivelado	30,00	m
Cota de Geratriz Inferior do Tubo de Entrada	23,00	m

## 4. Resultados

A implementação de um modelo dinâmico para a elaboração de projetos básicos de estações elevatórias de esgoto (EEEs) marcou um ponto de virada significativo, trazendo melhorias consideráveis em eficiência operacional e qualidade dos projetos entregues. Os principais resultados alcançados com essa inovação podem ser resumidos nos seguintes pontos:

**Agilidade na elaboração dos projetos:** A implementação do modelo dinâmico facilitou uma redução significativa no período requerido para a elaboração dos projetos básicos das estações elevatórias de esgoto (EEEs). A automatização de operações recorrentes, juntamente com a parametrização dos elementos constituintes do projeto, acelerou de forma efetiva o processo de concepção das infraestruturas essenciais à estação elevatória, abrangendo poços, tubulações, bombas e válvulas.

**Precisão no dimensionamento hidráulico:** A adoção do modelo dinâmico propiciou um aprimoramento na precisão do dimensionamento hidráulico, levando em consideração variáveis específicas estabelecidas, como a vazão de esgoto, a cota do nível d'água e o diâmetro dos poços. Essa abordagem permitiu uma customização mais acurada das estruturas da estação elevatória, assegurando que fossem adequadamente ajustadas às exigências particulares de cada projeto.

Consistência nos quantitativos de materiais: A parametrização dos componentes do projeto, empregada no modelo dinâmico, assegurou uma consistência nos quantitativos de materiais utilizados. Tal medida contribuiu para a mitigação de equívocos e discrepâncias nos cálculos de materiais, simplificando significativamente o processo de planejamento e controle dos recursos imprescindíveis à edificação das estações elevatórias de esgoto.

Flexibilidade na personalização dos projetos: O emprego do modelo dinâmico possibilitou a adaptação dos projetos básicos de estações elevatórias de esgoto (EEEs) às particularidades de cada projeto. A configuração dos parâmetros no início do processo pôde ser modificada conforme as exigências específicas do cliente, assegurando uma flexibilidade destacada e habilitando a customização efetiva dos projetos.

Melhoria na comunicação e colaboração: A integração do modelo dinâmico no contexto do BIM promoveu significativamente a comunicação e a colaboração entre os diversos especialistas participantes do projeto. A capacidade de visualizar em três dimensões as infraestruturas da estação elevatória, juntamente com o compartilhamento de dados em tempo real, facilitou uma compreensão aprimorada e uma maior sinergia entre as equipes de projeto, otimizando o processo de desenvolvimento e implementação.

Os resultados alcançados através da utilização do modelo dinâmico para o desenvolvimento de projetos básicos de estações elevatórias de esgoto ressaltam o valor agregado do Building Information Modeling (BIM) e do algoritmo Dynamo na otimização do processo de elaboração dessas estruturas. Tal abordagem demonstra potencial para promover melhorias em eficiência, qualidade e sustentabilidade dentro do setor de saneamento básico, conforme evidenciado nas Figuras 4 e 5.

## 5. Discussão

A análise dos resultados obtidos com a aplicação do modelo dinâmico para projetos básicos de estações elevatórias de esgoto permite uma discussão sobre os benefícios e limitações dessa abordagem, bem como a comparação com outros métodos tradicionais de elaboração de projetos. Em relação aos benefícios, destaca-se a agilidade na elaboração dos projetos, proporcionada pela automação das tarefas repetitivas e pela parametrização dos elementos do projeto. Isso resulta em uma redução significativa do tempo necessário para a criação das estruturas da estação elevatória. Além disso, a precisão no dimensionamento hidráulico, garantida pelo modelo dinâmico, contribui para a adequação das estruturas às necessidades específicas de cada projeto. A consistência nos quantitativos de materiais é outro benefício importante, pois evita erros e inconsistências nos cálculos, facilitando o planejamento e o controle dos recursos necessários para a construção das estações elevatórias de esgoto. A flexibilidade na personalização dos projetos também é um ponto positivo, permitindo ajustes e adaptações conforme as demandas do cliente.

No entanto, é importante ressaltar algumas limitações dessa abordagem. A dependência do software Revit e do algoritmo Dynamo pode ser uma restrição para alguns profissionais ou empresas que não possuem acesso ou conhecimento dessas ferramentas. Além disso, a parametrização dos elementos do projeto requer um conhecimento técnico específico, o que pode representar um desafio para profissionais menos familiarizados com o BIM. Ao comparar o modelo dinâmico com outros métodos tradicionais de elaboração de projetos básicos de estações elevatórias de esgoto, fica evidente a vantagem em termos de eficiência e qualidade. A automação e a parametrização proporcionam uma maior precisão nos resultados, evitando erros e retrabalhos. Além disso, a visualização tridimensional das estruturas em ambiente BIM facilita a comunicação e a colaboração entre as equipes de projeto.

Em suma, a aplicação do modelo dinâmico para projetos básicos de estações elevatórias de esgoto em BIM apresenta benefícios significativos em termos de agilidade, precisão, consistência, flexibilidade e comunicação. No entanto, é necessário considerar as limitações e desafios associados a essa abordagem. Pesquisas futuras podem explorar ainda mais o potencial do BIM e do algoritmo Dynamo na otimização do processo de criação dessas estruturas, buscando soluções para superar as limitações identificadas.

## 6. Conclusão

Os resultados e discussões evidenciam que o modelo dinâmico paramétrico para projetos básicos de estações elevatórias de esgoto (EEEs), integrado ao BIM por meio do Revit e utilizando o script em Dynamo, representa uma abordagem promissora para otimizar o processo de criação dessas estruturas. A aplicação desse modelo proporciona agilidade na elaboração dos projetos, reduzindo o tempo necessário para sua criação. Ademais, a precisão no dimensionamento hidráulico e a consistência nos quantitativos de materiais asseguram a adaptação das estruturas às necessidades específicas de cada projeto. A flexibilidade na personalização dos projetos também é um aspecto favorável, permitindo ajustes e adaptações conforme as demandas do cliente. A visualização tridimensional das estruturas em ambiente BIM facilita a comunicação e a colaboração entre as equipes de projeto, contribuindo para uma melhor integração e compreensão do projeto como um todo. Entretanto, é necessário considerar as limitações e desafios associados a essa abordagem, como a dependência de ferramentas específicas e o conhecimento técnico necessário para a parametrização dos elementos do projeto.

Diante disso, sugere-se que pesquisas futuras explorem ainda mais o potencial do BIM e do algoritmo Dynamo na otimização do processo de criação de projetos básicos de estações elevatórias de esgoto. Tais estudos podem buscar soluções para superar as limitações identificadas e aprimorar ainda mais a eficiência e qualidade dos projetos nessa área.

Em resumo, o modelo dinâmico para projetos básicos de estações elevatórias de esgoto, integrado ao BIM e utilizando o algoritmo Dynamo, apresenta benefícios

significativos para o setor de saneamento básico. Sua aplicação pode contribuir para aprimorar a eficiência, qualidade e sustentabilidade das estruturas de saneamento, promovendo avanços nessa área crucial para a sociedade.

**Figura 4**  
Imagens geradas a partir dos dados automáticos.

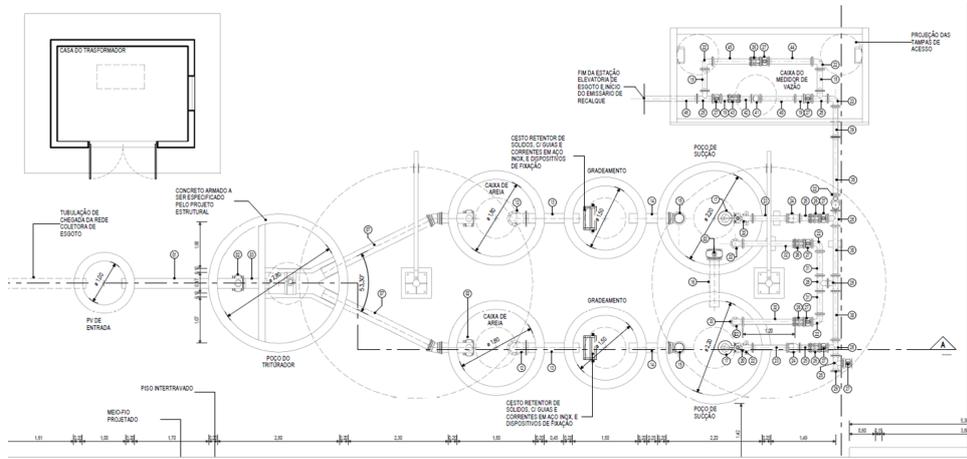


TABELA HORÁRICA DE PEÇAS						
ITEM	DESCRIÇÃO	DN	COMPRIMENTO	PIA	QTD.	MATERIAL
01	TUBO COM FLANGE E SONDA	100	100	1	1	PPR
02	VALVULA DE SAÍDA COM CORONA DE BORRACHA COM FLANGES, CORPO CURTO E CABOTE	100	100	1	1	PPR
03	TUBO COM FLANGE E SONDA	100	100	1	1	PPR
04	TUBO COM FLANGE	100	100	1	1	PPR
05	TUBO COM FLANGE	100	100	1	1	PPR
06	TUBO COM FLANGE	100	100	1	1	PPR
07	TUBO COM FLANGE E SONDA	100	200	1	2	PPR
08	CAIXA DE TUBO INTERTRAVADO COM BARRA COM LAMINA	200	100	1	1	PPR
09	PARTE DE PROLONGAMENTO COM QUADRADO	118F	200	1	1	PPR
10	MARCA, INTERLOCUTOR PARA PARTE DE PROLONGAMENTO E PONTE DE TRANSIÇÃO	118F	-	1	1	PPR
11	BRASA PARA ALCANTARILHO DE RESISTÊNCIA	-	-	1	1	PPR
12	VALVULA DE SAÍDA COM CORONA DE BORRACHA COM FLANGES, CORPO CURTO E CABOTE	100	100	1	1	PPR
13	TUBO COM FLANGE E SONDA	100	100	1	1	PPR
14	TUBO COM FLANGE E SONDA	100	100	1	1	PPR
15	TUBO COM FLANGE E SONDA	100	100	1	1	PPR
16	TUBO COM FLANGE E SONDA	100	100	1	1	PPR
17	CAIXA DE TUBO INTERTRAVADO 18, 110-415-100	100	100	1	1	PPR
18	REDETA CONTRATELA	80	-	1	1	PPR
19	REDETA CONTRATELA COM FLANGES	100	100	1	1	PPR
20	TUBO COM FLANGES	100	100	1	1	PPR
21	TUBO COM FLANGES	100	100	1	1	PPR
22	CAIXA DE TUBO INTERTRAVADO	100	100	1	1	PPR
23	TUBO COM FLANGES	100	100	1	1	PPR
24	VALVULA DE SAÍDA TIPO PORTINHA LARGA COM FLANGES	100	-	1	1	PPR
25	TUBO COM FLANGES	100	200	1	2	PPR
26	TUBO COM FLANGES	100	100	1	1	PPR
27	VALVULA DE SAÍDA COM CORONA DE BORRACHA COM FLANGES, CORPO CURTO E CABOTE	100	-	1	1	PPR
28	REDETA CONTRATELA	100	100	1	1	PPR
29	FLANGE C/DO	100	-	1	1	PPR
30	TUBO COM FLANGES	100	100	1	1	PPR
31	TUBO COM FLANGES	100	100	1	1	PPR
32	TUBO COM FLANGES	100	100	1	1	PPR
33	TUBO COM FLANGE E SONDA	100	100	1	1	PPR
34	CONJUNTO DE TUBO INTERTRAVADO COM FLANGE	80	-	1	1	PPR
35	VALVULA DE SAÍDA COM CORONA DE BORRACHA COM FLANGES, CORPO CURTO E CABOTE	80	-	1	1	PPR
36	REDETA CONTRATELA COM FLANGES	100	100	1	1	PPR
37	TUBO COM FLANGES	100	100	1	1	PPR
38	TUBO COM FLANGES	100	100	1	1	PPR
39	TUBO COM FLANGE E BARRA DE VIBRAÇÃO	100	100	1	1	PPR
40	TUBO COM FLANGES	80	100	1	1	PPR
41	MECANISMO DE INCLINAÇÃO ELÉTRONUMÉRICO COM FLANGES	80	-	1	1	PPR
42	TUBO COM FLANGES	80	100	1	1	PPR
43	LAMINA DE DESLIZAMENTO TRANSDUCIDA INCLINANTE COM FLANGES	80	-	1	1	PPR
44	TUBO COM FLANGES	100	100	1	1	PPR
45	TUBO COM FLANGES	100	100	1	1	PPR
46	TUBO COM FLANGES	100	100	1	1	PPR
47	PARTE DE PROLONGAMENTO COM QUADRADO, LAMINA DE LIGAÇÃO RIGIDA	118F	100	1	1	PPR
48	PARTE DE PROLONGAMENTO COM QUADRADO, LAMINA DE LIGAÇÃO RIGIDA	118F	100	1	2	PPR

QUANTITATIVO MATERIAIS		
DESCRIÇÃO DO MATERIAL	QUANTIDADE	
	ÁREA	VOLUME
PIE EM CONCRETO COM PREPARO MECÂNICO, ESPESSURA A SER DEFINIDA PELO PROJETO ESTRUTURAL	43,17 m²	6,47 m³
GRAMA TIPO ESMERALDA	240,09 m²	12,00 m³
PINTURA DE ACABAMENTO COM APLICAÇÃO DE 02 DEMÃO DE TINTA PVC LATEX PARA EXTERIORES NA COR AZUL	12,23 m²	0,00 m³
PIE INTERTRAVADO	97,00 m²	9,70 m³
ALVENARIA EM TUILO CERÂMICO 9x19x19cm 1/2 VEZ, ASSENTADO COM ARGAMASSA TRACO 1:2:3 (CIMENTO, CAL E AREIA)	321,83 m²	32,18 m³
AJO INOX 304 19x19	0,51 m²	0,00 m³
CONCRETO ARMADO, VER ESPECIFICAÇÕES NO PROJETO ESTRUTURAL	514,36 m³	69,08 m³
PINTURA DE ACABAMENTO COM APLICAÇÃO DE 02 DEMÃO DE TINTA PVC LATEX PARA EXTERIORES NA COR BRANCO GELO	320,13 m²	8,00 m³
PINTURA DE ACABAMENTO COM APLICAÇÃO DE 02 DEMÃO DE TINTA PVC PVA PARA INTERIORES NA COR BRANCO GELO	322,25 m²	8,07 m³
	1872,06 m²	165,53 m³

**Figura 5**  
Vista 3D.



## Referências

- [1] A. Silva, B. Santos, and C. Oliveira, "Aplicação do BIM no projeto de uma estação elevatória de esgoto," *Revista de Engenharia Civil*, vol. 10, no. 2, pp. 45-58, 2018.
- [2] D. Santos, E. Oliveira, and F. Silva, "Aplicação do BIM na modelagem e simulação hidráulica de estações elevatórias de esgoto," *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol. 12, no. 3, pp. 78-92, 2019.
- [3] G. Oliveira, H. Silva, and I. Santos, "Aplicação do BIM na gestão de projetos de estações elevatórias de esgoto: estudo de caso," *Revista de Engenharia e Tecnologia*, vol. 15, no. 1, pp. 112-126, 2020.



# Desenvolvimento de projetos BIM para operação remota de uma estação de tratamento de óleo mineral

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.10>

**Matheus Castelo<sup>1</sup>, Bernardo Beltrão<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> TPF Engenharia, Recife, Brasil

## Resumo

O objetivo do artigo é apresentar as metodologias para desenvolvimento dos projetos básicos civis e industriais de uma Estação de Tratamento de Óleo Mineral (ETO) em BIM. A contratante possuía maturidade BIM ainda em amadurecimento e alto grau de exigências, que foram transmitidos através principalmente do Termo de Referência do contrato. O objetivo da adoção do BIM visou, sobretudo, a atender às necessidades de Operação & Manutenção (O&M) da ETO, além de trazer assertividade técnica e financeira à execução da obra. O primeiro desafio consistiu em desenvolver o projeto com vista a possibilitar a operação remota da ETO. As principais ferramentas autorais utilizadas foram Autodesk Revit e Civil 3D, e o compartilhamento de informações foi realizado via padrões openBIM – *Industry Foundation Classes* (IFC) e *BIM Collaboration Format* (BCF). A coordenação BIM buscou interpretar os requisitos do cliente e, com isso, estruturou fluxos de trabalho fundamentados na gestão integrada da informação, através de contêineres dispostos em um Ambiente Comum de Dados (CDE), em conformidade com normas e melhores práticas. O grande destaque, nesse sentido, foi o esmero pela gestão da informação, com aplicação de ferramentas baseadas em metodologias ágeis, através também da utilização do Microsoft Azure e do Project.

## 1. Introdução

O projeto da ETO em questão foi fundamentalmente pioneiro por diversas razões, dentre as quais se destacam o seu pioneirismo – já que não há referências palpáveis próximas aos requisitos da contratante – e o fato de ser uma aplicação da metodologia BIM para um projeto de um empreendimento industrial, que se pretende operar e monitorar remotamente.

Nesse sentido, a entidade demandante contratou um consórcio para a realização dos serviços descritos neste artigo, com requisitos específicos de funcionamento dos sistema e, não menos importante, de que maneira tais exigências se materializariam em entregáveis BIM.

Ao longo do artigo, serão descritos todos os processos principais associados ao projeto básico da ETO, sob pontos de vista gerencial e técnico, com destaque para tudo o que o fez um diferencial quando comparado a demais contratações BIM atuais.

## 2. Planejamento BIM

### 2.1. Fases do projeto

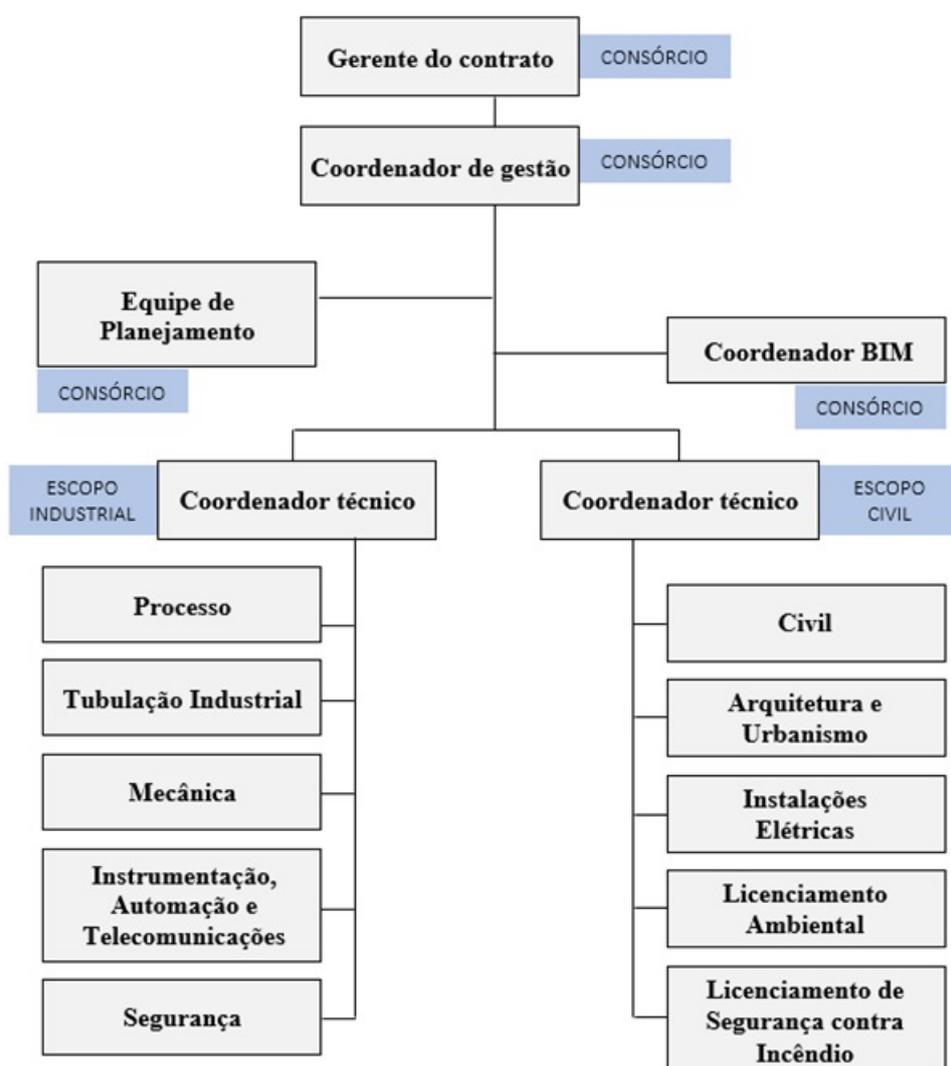
Para o planejamento global das atividades, o Termo de Referência (TR) do contrato previu a divisão do projeto em três fases principais:

- Fase I: fornecimento de sistema informatizado para o projeto, serviços de treinamentos, elaboração e submissão de documentação para obtenção da licença de instalação e do atestado de conformidade do projeto junto aos órgãos competentes;
- Fase II: serviço de federação dos modelos, compatibilização dos projetos aprovados, entregas da licença de instalação e do atestado de conformidade do projeto;
- Fase III: serviços de elaboração do planejamento, orçamentação e entregas das documentações básicas do projeto, do sistema informatizado para gestão do empreendimento e da contratação para a fase subsequente do projeto.

Em linhas gerais, o objetivo de cada fase foi atingido, considerando tratativas entre contratada e contratante para o amadurecimento dos requisitos dos entregáveis e sua aprovação final. Replanejamentos se fizeram necessários eventualmente, sobretudo em função da necessidade de consultas ao mercado, dado o grau de pioneirismo da planta industrial e da quantidade de soluções customizadas para pleno funcionamento do sistema da ETO.

## 2.2. Organograma da equipe de trabalho

A equipe de produção do consórcio se dividiu objetivamente conforme se apresenta na Figura 1. Destaca-se sobretudo a diferenciação entre as funções do Coordenador BIM – debruçado sobre a prática da metodologia – e dos Coordenadores técnicos – especializados em cada escopo do contrato. Ademais, é válido ressaltar que o papel da equipe de Planejamento foi fundamental na organização das ferramentas de acompanhamento e gestão da informação do empreendimento, a serem detalhadas no item 2.5.



**Figura 1**  
Organograma geral do Consórcio contratado para desenvolvimento do projeto.

## 2.3. Plano de execução BIM

Como é típico de todo processo BIM, o PEB (Plano de Execução BIM) foi a documentação que norteou o projeto desde o princípio. Para que a OIS (Ordem de Início dos Serviços) fosse validada pela contratante, foi necessário que a emissão inicial de um PEB dito “pré-projeto” fosse aprovada, como resposta imediata aos requisitos de informação.

É válido ressaltar que não existiram os requisitos formais (OIR, PIR, AIR e EIR) como preconizados pela ISO 19650 [1] e [2]. Todas as exigências – projetuais e quanto ao BIM – foram veiculadas através do TR (Termo de Referência do projeto) e seus anexos, que refletiram os conteúdos usualmente previstos pelos requisitos da ISO. Um dos principais documentos anexos ao TR foi o padrão do PEB, que serviu como principal ponto de partida para o consórcio contratado, já que também detalhou as expectativas da contratante quanto ao mais importante requisito de informação dos modelos: a regra de etiquetagem dos elementos de projeto importantes às atividades de Operação & Manutenção (ver item 3.3 para maiores detalhes).

Ao longo do processo, o PEB foi elaborado a diversas mãos pelas equipes envolvidas, com participação efetiva da contratante nas definições do planejamento e com a responsabilidade técnica devidamente assumida pelo Coordenador BIM. A seguir, lista-se o conteúdo principal do Plano:

- Metodologias de Gestão e Coordenação (ver item 2.5);
- Responsabilidades das partes interessadas e membros da equipe;
- Organização do fluxo de trabalho BIM, que estabelece o Ambiente Comum de Dados – CDE (ver também item 2.5), Usos BIM (ver item 2.4), softwares e hardwares, trocas sistemáticas de informações e comunicação, padrões openBIM e níveis de informação (ver item 3.1), aspectos de interoperabilidade e federação de modelos (ver também item 3.1), estrutura de armazenamento, codificação de arquivos e marcos contratuais.

## 2.4. Usos BIM

Uma das atividades de partida do planejamento BIM é a definição dos Usos dos contêineres de informação – sobretudo modelos –, pretendidos pela contratante. Com base na etapa em questão do projeto e nas aplicações finais focadas em O&M, os Usos BIM definidos no PEB foram descritos na tabela 1.

## 2.5. Gestão da informação

Conforme inicialmente ressaltado, um dos grandes diferenciais do processo relativo ao projeto da ETO foi o esmero pela gestão da informação, que é uma das grandes motivações para a existência da Metodologia BIM. Nesse sentido, um dos principais requisitos da contratante resultou na customização de um conjunto de ferramentas para permitir rastreabilidade de dados e *follow-up* de todos os compromissos oriundos da gestão e da coordenação do projeto. O acompanhamento geral do projeto foi efetuado através de reuniões semanais de gestão, além das reuniões de *Design Review*.

Para tal, no PEB, foi detalhadamente descrita a interface entre três principais ferramentas de acompanhamento:

- **Microsoft Azure:** Plataforma customizável, na qual foi possível cadastrar o cronograma do projeto, as atas de reunião (bem como todos os compromissos,

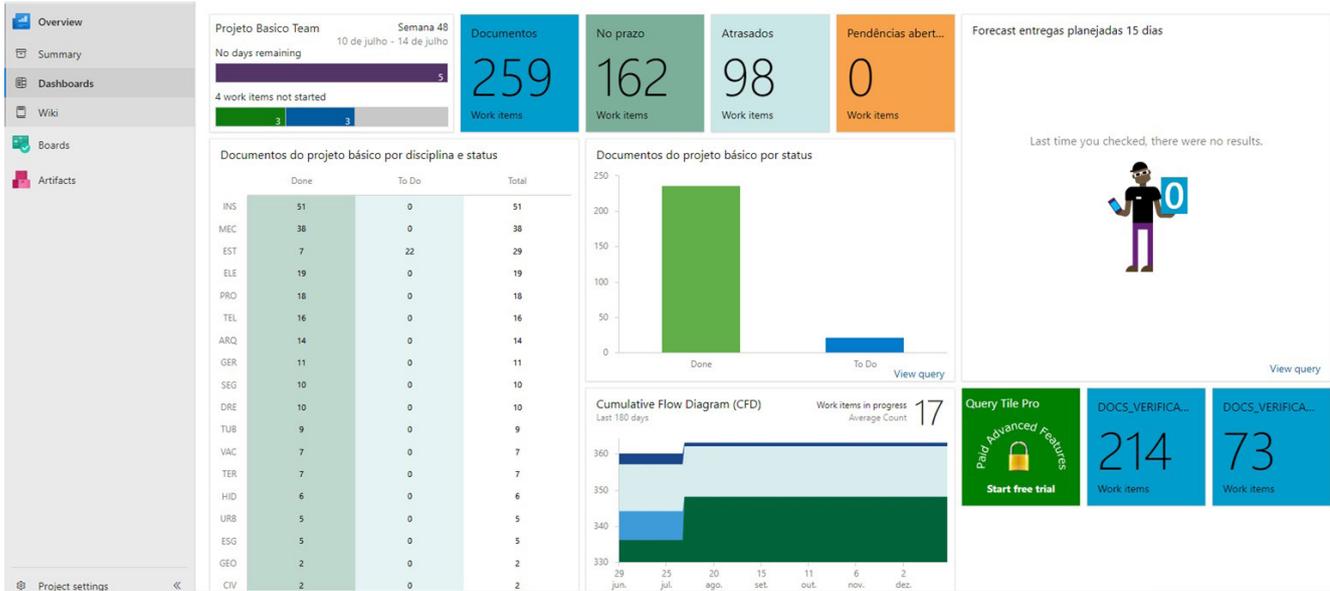
sempre rastreáveis e endereçáveis) e todos os relatórios e registros (sobretudo das Guias de Remessa de Documentos – GRDs –, que incluíram os modelos BIM entregáveis e todas as documentações técnicas e gerenciais do projeto). Ao longo das reuniões semanais, foi possível trabalhar com as perspectivas de *follow-up* de compromissos abertos e *preview* de compromissos pré-estabelecidos para as partes envolvidas;

- **Trimble Connect:** Foi o Ambiente Comum de Dados (CDE) escolhido para organização dos contêineres de informação do projeto, com sua estrutura adequada à ISO 19650 [1] e [2] e à ABNT PR 1015 [3]. Todas as GRDs foram oficialmente emitidas através do CDE, com registro formal via Microsoft Azure. Além disso, todos os encaminhamentos técnicos de atas de reunião cadastradas no Azure foram registrados através do *task manager* do Trimble Connect, diretamente associados aos modelos BIM quando necessário;
- **Microsoft Power BI:** Ferramenta na qual foi customizado um *dashboard* administrativo de acompanhamento das emissões de documentações, em conformidade com o cronograma cadastrado no Azure. O *dashboard* permitiu um *overview* semanal do andamento das GRDs planejadas.

Tabela 1: Descrição dos Usos BIM

Usos BIM pretendidos	Fase(s) de desenvolvimento	Principal(is) fase(s) de aplicação	Ferramentas aplicadas
Modelagem e Design Autoral	Projeto	Execução e Operação & Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autodesk Revit</li> <li>• Autodesk Civil 3D</li> <li>• TQS</li> <li>• Metálicas 3D</li> </ul>
Coordenação 3D com <i>Clash Detection</i>	Projeto e Execução	Execução	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trimble Connect</li> <li>• Autodesk Navisworks Manage</li> </ul>
Planejamento da Execução	Projeto e Execução	Execução	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autodesk Navisworks Manage</li> </ul>
Extração de Quantitativos e Orçamentação	Projeto	Execução	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ferramentas nativas (extração de quantitativos)</li> </ul>
Visualização	–	Projeto e Execução	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trimble Connect</li> </ul>
Gestão de <i>Facilities</i> (Sistema de Gestão do Empreendimento)	Projeto e Execução	Operação & Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insumos entregues à contratada na fase de Projeto, para futura aquisição de ferramenta específica</li> </ul>

A seguir, a título de exemplo e para melhor compreensão da interconexão entre as ferramentas, visualiza-se a gestão global das emissões de modelos e documentos no Microsoft Azure:



**Figura 2**  
Overview das emissões no Microsoft Azure, diretamente associadas às GRDs emitidas no CDE.

### 3. Execução, monitoramento e controle

#### 3.1. Coordenação da modelagem BIM

A principal atribuição do Coordenador BIM no processo foi a de assegurar a boa prática da metodologia BIM, face às atividades planejadas no PEB. O desafio inicial do processo de coordenação da modelagem é definir estratégias para a federação dos modelos. Essas estratégias passaram, sobretudo, pela definição do **georreferenciamento** das maquetes de cada disciplina e pela antecipação da **interoperabilidade** entre as ferramentas autorais. Nesse contexto, desde a emissão inicial do PEB, essas questões já se encontravam pré-definidas e, ao longo do processo, puderam ser amadurecidas.

No contexto da interoperabilidade, é válido ressaltar que desafios diversos se fizeram presentes, com destaque para a necessidade de aplicar versões diferentes de IFC para usos específicos dos modelos. A motivação para o uso da versão IFC 4 deu-se curiosamente devido a problemas de interoperabilidade entre *softwares* da Autodesk no quesito georreferenciamento – de maneira objetiva, para o uso de Planejamento da Execução, o Navisworks Manage não efetuou leitura correta da posição geográfica dos modelos IFC 2x3 exportados do Revit com base em coordenadas compartilhadas. Nesse sentido, a forma mais prática de resolução da limitação descrita foi utilizar o IFC 4, uma versão já consolidada, para garantia da devida federação dos modelos BIM das disciplinas no Navisworks. O padrão 2x3 foi mantido para as demais aplicações, considerando que, até então, o visualizador nativo do CDE não apresentava compatibilidade com o IFC 4.

Tabela 2: Definição final dos padrões openBIM utilizados no projeto da ETO

Padrão e versão	Model View Definition	Referência geográfica	Aplicação
IFC 2x3 TC1	Coordination View 2.0	Coordenadas compartilhadas	Trocas de informação gerais e entregas de modelos BIM
IFC 4	Reference View	Ponto-base do projeto com georreferenciamento	Uso BIM de Planejamento da Execução
BCF 3.0	Padrão	-	Colaboração e veiculação de informações da modelagem entre as partes envolvidas

Para a **federação** dos modelos, a ferramenta primordial utilizada foi o visualizador do CDE, que permitiu interações entre todas as partes envolvidas, através da criação de tarefas (com uso do *task manager*) e eventual exportação de arquivos BCF, caso necessário. Através da federação, parte do processo de detecção de interferências também foi possível através do Trimble Connect (ver item 3.2).

Em linhas gerais, o principal ponto de destaque do processo de coordenação BIM foi a necessidade de superar a baixa maturidade de parte das equipes técnicas envolvidas. Considerando que a metodologia ainda se encontra em amadurecimento, sobretudo para projetos industriais, foi uma boa prática a adoção de um **Manual de Coordenação BIM**. O propósito central do documento foi traduzir às equipes de trabalho todos os encaminhamentos previstos no PEB, mas em termos mais técnicos e detalhados, dadas as aplicações específicas de cada ferramenta. Um dos principais conteúdos do manual foi a definição dos parâmetros de interesse da contratada (ver item 3.3), em atendimento direto aos requisitos de informação.

### 3.2. Processo de detecção de interferências

Outro objeto de trabalho essencial para a coordenação BIM foi o processo de *clash detection* (detecção de interferências) entre os modelos. A atenção foi igualmente dividida entre os *soft* (interferências de carácter espacial, considerando manuseio de elementos móveis e afins) e *hard clashes* (interferências físicas propriamente ditas entre elementos).

Para a detecção dos *hard clashes*, as análises se dividiram em dois procedimentos paralelos e contínuos:

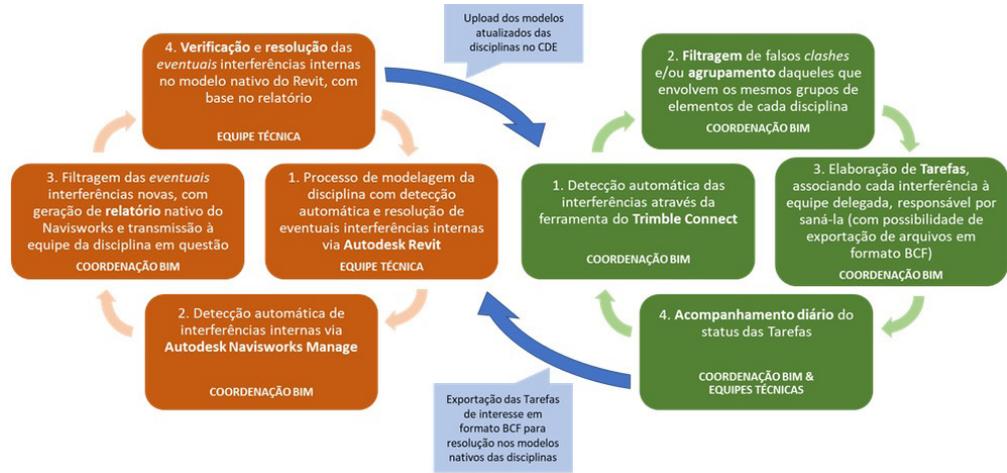
- *Clash Detection interdisciplinar*, no qual interferências entre elementos de diferentes disciplinas foram avaliados com base em uma tolerância de 10,0 mm (considerada a fase de projeto básico);
- *Clash Detection intra-disciplinar*, no qual eventuais interferências entre elementos de uma mesma disciplina foram analisados em seu modelo nativo.

De maneira sucinta, o fluxo de trabalho se deu conforme apresentado na figura a seguir. O papel da coordenação BIM, nesse contexto, foi o de analisar os modelos no

contexto de cada procedimento acima descrito, além de acompanhar os avanços da resolução das interferências através das reuniões técnicas do consórcio.

**Figura 3**

Fluxo simplificado de detecção de interferências, similar a processo PDCA (Plan-Do-Check-Act), com descrição das etapas intra-disciplinar (laranja) e interdisciplinar (verde).



Coube também ao Coordenador BIM reforçar junto às equipes a importância da proatividade ao longo do processo de modelagem, motivo pelo qual foi adotada uma prática de *clash avoidance* (evitamento de interferências) desde o início das atividades. A ideia se estendeu sobretudo às interferências intra-disciplinares, mas também às externas, considerando a alta experiência técnica das equipes e a sensibilidade quanto ao trabalho colaborativo.

Para acompanhamento global do *clash detection* interdisciplinar, tanto pela contratante quanto pelas equipes técnicas, a coordenação BIM exportou semanalmente as tarefas cadastradas no Trimble Connect, compilando-as em uma planilha Excel e quantificando as interferências já sanadas e abertas, para composição do Relatório Mensal do projeto.

### 3.3. Parametrização dos elementos BIM

Como atendimento aos requisitos de informação da contratante, o planejamento BIM do projeto considerou os seguintes parâmetros de interesse:

Tabela 3: Descrição dos parâmetros de interesse para o projeto da ETO

Nome do Parâmetro	Conteúdo	Tipologia <sup>1</sup>
<b>ETO-RCD_Descrição</b>	Descrição do elemento modelado, contendo especificações mínimas para orçamentação e execução da obra	Parâmetro de <b>tipo</b>
<b>ETO-RCD_ID_O&amp;M</b>	Identificação dos elementos para Operação & Manutenção, conforme orientação do PEB	Parâmetro de <b>instância</b>
<b>ETO-RCD_Tag</b>	Tagueamento dos elementos, em consonância com as documentações de projeto	Parâmetro de <b>instância</b>
<b>Nota-chave</b> (parâmetro nativo do Autodesk Revit)	Classificação dos elementos em atendimento à norma ABNT NBR 15965	Parâmetro de <b>tipo</b>

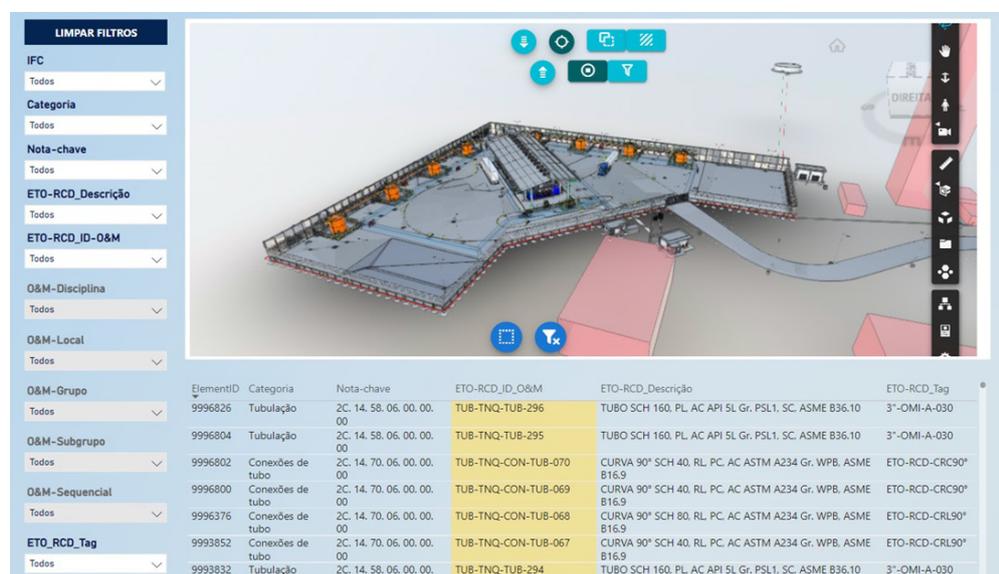
<sup>1</sup> Nota: A tipologia é baseada na classificação interna da ferramenta autoral Autodesk Revit.

Todo o processo de parametrização foi detalhado à equipe técnica através do já mencionado Manual de Coordenação BIM. Destaca-se a necessidade de criação de três parâmetros novos, dentre os quatro, além do uso de plug-ins específicos (Di-Roots FamilyReviser e ParaManager), que facilitaram o trabalho de codificação e gestão de massas muito extensas de dados.

### 3.4. Controle de qualidade da informação BIM

Por se tratar de um projeto com foco crítico na construção de uma base de dados sólida e extensa, fez-se necessária a aplicação de uma ferramenta também customizada para controle da qualidade da modelagem quanto aos parâmetros elencados no item 3.3. O **Dashboard de Qualidade BIM**, nesse sentido, foi uma ferramenta elaborada como uma integração entre o Microsoft Power BI e o Forge, uma plataforma de visualização BIM da Autodesk.

A montagem do *dashboard* se deu com uma interface direta entre o Coordenador BIM e a equipe de Inovação da contratada, com customização específica para atender às verificações de qualidade dos modelos de todas as disciplinas. O principal dado de entrada para tal foi o **Manual de Identificação dos Elementos BIM**, documento entregável, elaborado para funcionar como um dicionário global da informação nos modelos. Em particular, o parâmetro ETO-RCD\_ID\_O&M apresentou regra específica de preenchimento, que pôde ser inspecionada através do *dashboard*.



The image shows a screenshot of a BIM Quality Dashboard. On the left, there is a sidebar with various filters: IFC, Categoria, Nota-chave, ETO-RCD\_Descrição, ETO-RCD\_ID-O&M, O&M-Disciplina, O&M-Local, O&M-Grupo, O&M-Subgrupo, O&M-Sequencial, and ETO\_RCD\_Tag. The main area displays a 3D model of a building with various components highlighted in red and blue. Below the model is a table with the following columns: ElementID, Categoria, Nota-chave, ETO-RCD\_ID\_O&M, ETO-RCD\_Descrição, and ETO-RCD\_Tag. The table contains several rows of data, with some rows highlighted in yellow.

ElementID	Categoria	Nota-chave	ETO-RCD_ID_O&M	ETO-RCD_Descrição	ETO-RCD_Tag
9996826	Tubulação	2C. 14. 58. 06. 00. 00.	TUB-TNQ-TUB-296	TUBO SCH 160. PL. AC API 5L Gr. PSL1. SC. ASME B36.10	3"-OMI-A-030
9996804	Tubulação	2C. 14. 58. 06. 00. 00.	TUB-TNQ-TUB-295	TUBO SCH 160. PL. AC API 5L Gr. PSL1. SC. ASME B36.10	3"-OMI-A-030
9996802	Conexões de tubo	2C. 14. 70. 06. 00. 00.	TUB-TNQ-CON-TUB-070	CURVA 90° SCH 40. RL. PC. AC ASTM A234 Gr. WPB. ASME B16.9	ETO-RCD-CRC90°
9996800	Conexões de tubo	2C. 14. 70. 06. 00. 00.	TUB-TNQ-CON-TUB-069	CURVA 90° SCH 40. RL. PC. AC ASTM A234 Gr. WPB. ASME B16.9	ETO-RCD-CRC90°
9996376	Conexões de tubo	2C. 14. 70. 06. 00. 00.	TUB-TNQ-CON-TUB-068	CURVA 90° SCH 80. RL. PC. AC ASTM A234 Gr. WPB. ASME B16.9	ETO-RCD-CRL90°
9993852	Conexões de tubo	2C. 14. 70. 06. 00. 00.	TUB-TNQ-CON-TUB-067	CURVA 90° SCH 40. RL. PC. AC ASTM A234 Gr. WPB. ASME B16.9	ETO-RCD-CRL90°
9993832	Tubulação	2C. 14. 58. 06. 00. 00.	TUB-TNQ-TUB-294	TUBO SCH 160. PL. AC API 5L Gr. PSL1. SC. ASME B36.10	3"-OMI-A-030

**Figura 4**  
Dashboard com modelo federado e análise dos parâmetros de interesse.

As verificações iniciais, conduzidas ainda sem o *dashboard* customizado, foram feitas pela coordenação BIM por amostragem. Mensurou-se a redução de esforço graças à adoção da ferramenta através da tabela que segue:

Tabela 4: Comparativo entre uma análise típica e uma com uso do *dashboard*

Metodologia de análise	Descrição do processo	Tempo total dedicado (h)	Tempo médio por modelo <sup>1</sup> (h)
Inicial	Verificação por amostragem, com base nas categorias dos modelos nativos de cada disciplina (confeção manual de relatório)	27	1,69
<i>Dashboard</i> de Qualidade	Verificação global, com modelo federado, para cada categoria de modelo e cada parâmetro, com filtragem visual das não-conformidades (confeção de relatório-resumo e visualização direta de todas as não-conformidades pela equipe técnica no próprio <i>dashboard</i> )	6	0,38

<sup>1</sup> Nota: Considera-se a análise dos dezasseis modelos BIM parametrizáveis das disciplinas.

**Figura 5**  
Fluxo simplificado do trabalho de Controle de Qualidade da Informação BIM.



#### 4. Principais desafios e lições aprendidas

No contexto do projeto pioneiro da ETO – seja por seus requisitos ou pela aplicação bastante específica do BIM –, os desafios foram inúmeros, destacando-se a maturidade quanto à metodologia (bem como seu ganho graças ao projeto) e a interface direta com a futura fase de O&M, ainda pouco recorrente na concepção de empreendimentos em geral.

No quesito lições aprendidas, ficou evidente para a coordenação BIM, a contratada e a contratante que a promoção da colaboração rende bons frutos, já que se tratou de um projeto conduzido com grande esmero pelas boas práticas de gestão da informação. Ademais, com uma definição clara de requisitos BIM – mesmo que amadurecidos gradativamente –, a entrega se torna consideravelmente mais assertiva. A inovação, por fim, é a palavra-chave que se aplica para definir o sucesso do projeto. Graças à adoção de práticas diferenciadas, foi possível pôr em obra toda a rastreabilidade (vide gestão da informação), a produtividade (vide *dashboard* dos parâmetros) e a qualidade (vide fluxos de coordenação e usos BIM) pretendidas.

## Referências

- [1] ABNT, "ABNT 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," Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2022, ISBN 978-85-07-09128-8.
- [2] ABNT, "ABNT NBR ISO 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," Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2022, ISBN 978-85-07-09129-5.
- [3] ABNT, "ABNT PR 1015: Ambiente Comum de Dados (CDE)," Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2022, ISBN 978-85-07-09130-1.



# Rumo a adoção de métodos avançados para a análise estrutural de agregados de alvenaria: uma abordagem baseada em openBIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.11>

**Maria Laura Leonardi<sup>1</sup>, José Granja<sup>2</sup>,  
Daniel V. Oliveira<sup>3</sup>, Miguel Azenha<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *University of Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal, ID ORCID 0000-0003-3659-3955*

<sup>2</sup> *University of Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal, ID ORCID 0000-0002-0858-4990*

<sup>3</sup> *University of Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal, ID ORCID 0000-0002-8547-3805*

<sup>4</sup> *University of Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal, ID ORCID 0000-0003-1374-9427*

## Resumo

Os agregados de alvenaria são grupos de edifícios que estão interligados, formam um padrão repetitivo na paisagem e moldam a morfologia dos centros históricos. A análise estrutural destes complexos requer um grande número de dados para caracterizar as propriedades mecânicas. Além disso, para obter resultados mais fidedignos, a modelação por elementos finitos sólidos oferece mais informação que a modelação baseada em elementos mistos de barra-casca. No presente artigo é proposto um método automático para a modelação de elementos finitos sólidos a partir de modelo IFC. Esta metodologia pretende resolver o problema da interoperabilidade entre o modelo de dados em IFC e o motor de cálculo estrutural OpenSees através do desenvolvimento de um algoritmo específico. Este método foi desenvolvido utilizando as seguintes bibliotecas Python: IfcOpenShell, PythonOcc, Gmsh, Gmsh2OpenSees e OpenSeesPy. O método proposto é escalável a um vasto número de cenários, eliminando a necessidade de intervenção manual no processo de interoperabilidade. É apresentada uma aplicação a um agregado de alvenaria real situado no centro histórico de Siracusa.

## 1. Introdução

A análise estrutural de estruturas de alvenaria representa um grande desafio, especialmente no contexto de edifícios existentes. Os principais obstáculos incluem a necessidade de muita informação, a complexidade da geometria e os custos computacionais associados à análise de um modelo com muitos graus de liberdade.

Os edifícios de alvenaria existentes incluem as habitações tradicionais que se encontram nos centros históricos. Estas são frequentemente caracterizadas por habitações interligadas, formando os chamados “agregados de alvenaria” [1]. Este tipo de construção é comum no sul da Europa, onde era o tipo de habitação tradicional. Estas construções de alvenaria eram tradicionalmente feitas de material local, com elementos de madeira principalmente no sistema de divisórias horizontais [2]. Em comparação com as construções monumentais (por exemplo, igrejas ou templos), os agregados de alvenaria são frequentemente construídos com materiais mais pobres e com menos atenção aos pormenores de construção. Além disso, sofreram frequentemente várias alterações ao longo dos anos, que modificaram o seu comportamento estrutural e especialmente a sua resposta sísmica. Efetivamente, a análise do cenário de danos de sismos recentes pôs em evidência a vulnerabilidade sísmica destes edifícios [3].

O comportamento sísmico de cada edifício dum agregado de alvenaria depende não só das suas próprias características, mas também das características dos edifícios adjacentes. O efeito “agregado”, ou seja, a variação da resistência sísmica de um destes edifícios devido ao facto de se encontrar num agregado, só pode ser estudado eficazmente através de uma análise global [4]. Contudo, a utilização da modelação estrutural através de modelos globais é muito complexa, quando aplicada a agregados de alvenaria. A comunidade científica privilegiou frequentemente a utilização de métodos empíricos em grande escala [5], ou métodos simplificados de pórticos equivalentes [6]. Muito poucos trabalhos na literatura aplicaram a análise de elementos finitos sólidos a agregados de alvenaria. Em [7], a análise de elementos finitos aplicada a agregados em alvenaria é comparada com análises simplificadas, onde se mostra que a primeira produz melhores resultados, capturando tanto os colapsos no plano como fora do plano. O método dos elementos finitos é também aplicado em [8] e considerado preferível aos métodos simplificados. Em ambos os casos, apenas são modelados elementos de alvenaria, negligenciando outros elementos fundamentais como vigas e pavimentos.

Atualmente, os recentes métodos de paralelização para a análise de elementos finitos abriram novas fronteiras para a utilização de métodos complexos na análise estrutural, reduzindo significativamente os custos computacionais [9]. Este facto poderá abrir novas fronteiras na análise estrutural dos agregados de alvenaria. No entanto, subsiste o problema da complexidade da modelação e da gestão da informação.

O recurso a modelos BIM permite representar os edifícios em todas as suas complexidades. Esta é uma vantagem quando se utilizam métodos avançados de análise

estrutural aplicados a construções de alvenaria não reforçada. Atualmente, a interoperabilidade entre o modelo BIM e o software de cálculo permite que este seja utilizado para análises estruturais. Geralmente, os softwares proprietários permitem alternar entre o modelo BIM e o modelo “analítico”, que normalmente consiste num modelo simplificado feito de elementos lineares ou planos. Esta simplificação, que é válida para estruturas regulares e corresponde aos atuais métodos de análise estrutural, não permite a análise adequada de estruturas existentes com geometrias complexas, especialmente no caso de edifícios de alvenaria tradicional.

A revisão da literatura mostra que a comunidade científica tem avançado no sentido da utilização do BIM para a modelação estrutural de edifícios complexos de alvenaria estrutural. Em particular, há a tendência de utilizar modelos BIM para realizar modelos de cálculo, utilizando o método da teoria dos elementos finitos [10]–[12]. As contribuições têm ainda em comum a utilização da modelação estrutural sólida, que permite uma representação mais adequada do comportamento da alvenaria na sua secção resistente. Uma questão em aberto é o facto de, até agora, estas metodologias terem permanecido semi-automáticas e baseadas em software proprietário.

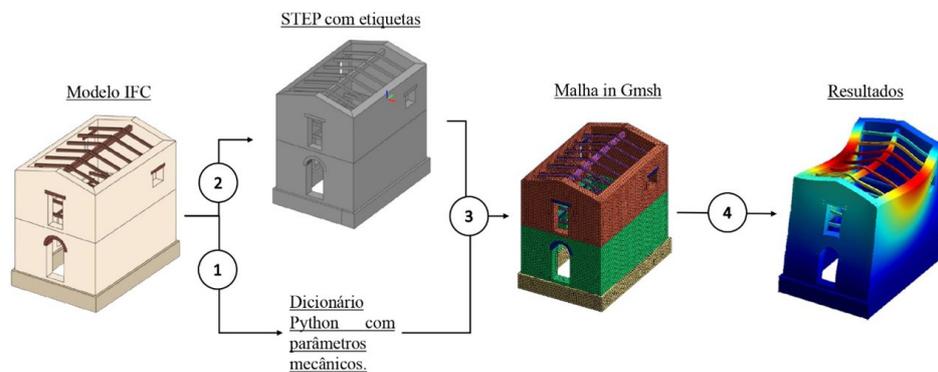
Este artigo apresenta um novo método para a análise estrutural com elementos finitos sólidos utilizando a modelação BIM em formato IFC. A interoperabilidade entre o BIM e o formato de cálculo é efectuada através de um código Python, desenvolvido pelos autores. O solver de cálculo utilizado é o OpenSees, que é *framework* em código aberto, o que permite manter a metodologia proposta totalmente aberta. Além disso, o OpenSees permite efetuar análises em paralelo, o que reduz consideravelmente os custos computacionais das análises. O método desenvolvido foi aplicado na análise estrutural de um complexo de edifícios de alvenaria tradicional. A aplicação a este caso de estudo permitiu demonstrar a sua escalabilidade. O agregado escolhido para a aplicação da metodologia proposta está localizado no centro histórico de Ortigia (Siracusa, Itália). A extensa documentação histórica e gráfica existente, devido à investigação de Giuffrè e a anteriores projetos de reabilitação no distrito de Graziella [13], facilitou a recolha de informações e permitiu que os autores se concentrassem no desenvolvimento do fluxo de trabalho.

O artigo está organizado de forma sequencial. Após esta introdução, a secção 2 apresenta brevemente o algoritmo desenvolvido, a secção 3 apresenta o caso de estudo e os principais resultados, a secção 4 apresenta as conclusões.

## 2. Metodologia proposta

Neste trabalho é proposta uma nova metodologia para a análise estrutural de edifícios complexos. Esta metodologia pretende resolver o problema da interoperabilidade entre o modelo de dados em IFC e o motor de cálculo estrutural OpenSees através do desenvolvimento de um algoritmo específico. Desta forma, o utilizador desta metodologia pode somente focar-se na produção de um modelo BIM em IFC com a informação necessária e a problemática da interoperabilidade fica resolvida.

O modelo BIM pode ser gerado em qualquer software de modelação desde que este seja capaz de gerar um ficheiro IFC com qualidade (requerida pela própria buildingSMART) e com as propriedades mecânicas necessárias para a análise estrutural associada aos elementos modelados. A Figura 1 apresenta uma visão geral do método desenvolvido. A partir do modelo geométrico em IFC é gerado um modelo geométrico em STEP e um dicionário com todas as informações não gráficas extraídas do modelo IFC necessário para o cálculo estrutural. Por fim, estes dois modelos de dados são integrados usando a ferramenta do Gmsh onde é gerada a malha de elementos finitos e preparado o ficheiro de comandos para a execução da análise estrutural no OpenSees. O Gmsh, tal como as outras bibliotecas utilizadas, é uma biblioteca aberta. Todos os procedimentos foram elaborados num algoritmo desenvolvido em Python, utilizando as seguintes bibliotecas de código: IfcOpenShell [14], PythonOCC [15], (c) Gmsh, Gmsh2OpenSees [16], and OpenSeesPy [17]. Os números apresentados na Figura 1 correspondem aos quatro algoritmos desenvolvidos.



**Figura 1**  
Visão geral do método.

O primeiro algoritmo tem por objetivo extrair as informações alfanuméricas associadas aos materiais IFC do modelo. Especificamente, para cada IfcElement, o material relevante e os seus parâmetros mecânicos são extraídos e introduzidos no modelo como 'IfcProperties'. É determinado se o material está diretamente associado à instância ou ao tipo. No caso de associação à instância, o código recupera imediatamente a informação sobre o material. Caso contrário, identifica o tipo de elemento e extrai as informações sobre o material em conformidade. Uma vez obtida a informação sobre o material, as propriedades são guardadas num dicionário Python para que possa ser obtida posteriormente e informar o modelo computacional.

O segundo algoritmo converte o ficheiro IFC num ficheiro STEP, permitindo a interoperabilidade entre o IFC e o gerador de malhas. Embora o processo de conversão de IFC para STEP possa ser automatizado através da utilização do módulo Python "IfcConvert" [1], este não é suficiente para ser mantido o link entre as entidades em STEP com as entidades em IFC. Para colmatar este problema, foi desenvolvida uma função para manter o registo dos materiais associados às formas, preservando a informação alfanumérica da transição do ficheiro IFC para o ficheiro STEP. Neste algoritmo, os elementos IFC do modelo são adquiridos iterativamente e os seus nomes de tipo (Relating type) são comparados com cada nome de material no dicionário

previamente gerado. Se o nome do tipo do objeto contiver um nome de material, este é atribuído como uma variável em Python, designada por “etiqueta”.

Depois, a geometria de cada elemento IFC é obtida no formato B-Rep, utilizando o kernel de geometria 'Open Cascade'. Foi observado que os sólidos complexos são modelados em IFC como *IfcAdvancedBRep*, e isso faz com que eles se quebrem em faces individuais quando convertidos para STEP. O algoritmo desenvolvido verifica quando isto acontece e gera o sólido a partir da envolvente composta por todas as faces. Isto permite a preservação da representação sólida dos objetos, necessária para a modelação de elementos finitos sólidos. Os sólidos são associados à 'etiqueta' gerada na fase inicial do algoritmo e guardados num ficheiro STEP.

No terceiro algoritmo, o ficheiro STEP é importado para o Gmsh para criar a geometria do modelo. Com base nas etiquetas associadas aos sólidos, as geometrias no Gmsh organizam-se em diferentes grupos, correspondentes a materiais diferentes. Finalmente, as superfícies mais baixas dos elementos de fundação são seleccionadas e é criado um grupo especial, que será utilizado para atribuir condições de fronteira. No final, é gerada a malha tetraédrica.

No quarto algoritmo, o modelo Gmsh é utilizado para gerar o modelo OpenSees, utilizando a biblioteca Python *GmshToOpenSees* [16], que permite importar os nós e os tetraedros do Gmsh para o OpenSees. Com base na subdivisão dos elementos em grupos no gmsh, são-lhes atribuídas propriedades mecânicas, elásticas e inelásticas, que são obtidas a partir do dicionário Python gerado no primeiro algoritmo. Para definir as análises a efetuar, é utilizada a biblioteca *OpenSeesPy*. A última parte do algoritmo permite visualizar os resultados das análises em Gmsh.

### 3. Caso de estudo

A metodologia proposta foi aplicada na análise estrutural de um complexo de edifícios de alvenaria. Este tipo de construção é chamado “agregado em alvenaria”. O agregado é constituído por 12 unidades de construção, atingindo um comprimento de 33 metros. A estrutura é de alvenaria de pedra, com telhados e pavimentos tradicionais de madeira. Algumas coberturas são planas de betão armado, devido às práticas de intervenção usuais no séc. XX.

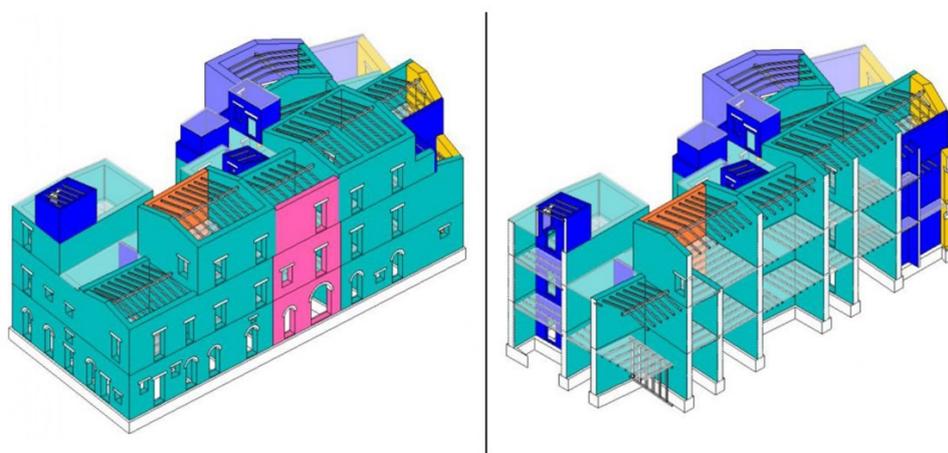
A documentação existente do agregado escolhido inclui plantas e alçados, representados a uma escala de 1:200, fornecendo informações valiosas sobre as características arquitectónicas do agregado escolhido. Para determinar as tipologias e características dos elementos estruturais, foi utilizada uma combinação de métodos. Isto envolveu o cruzamento de informação gráfica com o levantamento tipológico de Giuffré, bem como a utilização de dados obtidos através de inspeções visuais e imagens de satélite. O objetivo não foi reproduzir os detalhes exatos da construção original, mas sim demonstrar o potencial de aplicação da metodologia proposta.

### 3.1. Modelação em BIM

O agregado foi modelado na plataforma de modelação BIM Revit (versão 24.2.0.63). As soluções estruturais do agregado e os seus objetos correspondentes, foram definidos após um estudo tipológico baseado no trabalho de Giuffrè [13], como se segue: (a) parede estrutural, (b) divisória, (c) fundação, (d) piso, (e) telhado, e (f) aberturas (janelas e portas). Os seguintes “IfcBuildingElement” foram necessários para representar os diferentes objetos anteriormente mencionados: “IfcWall” para paredes e divisórias estruturais, “IfcFooting” para as fundações, “IfcBeam” para as vigas principais e secundárias de coberturas e pisos, “IfcSlab” para o revestimento das vigas ou lajes de betão armado, “IfcDoor” e “IfcWindow” para as aberturas.

As paredes foram modeladas como prismas contínuos, aos quais são atribuídos diferentes valores de propriedades mecânicas, correspondentes a diferentes tipos de alvenaria. Os pavimentos e as coberturas em madeira, foram modelados como um conjunto de vigas encimadas por uma prancha de madeira que redistribui os pesos e, se presente, a viga principal. Os pavimentos e coberturas de betão foram modelados como lajes. Para além das paredes principais, foram modeladas as paredes divisórias, que contribuem para o comportamento global da estrutura. As portas e janelas foram modeladas como aberturas com arcos ou lintéis. As fundações foram modeladas como paredes ligeiramente mais espessas do que as que suportam.

As características mecânicas dos materiais foram modeladas como propriedades atribuídas aos materiais associados aos diferentes elementos. A estas propriedades correspondem várias “IfcProperties” no “IfcPropertySet” do esquema IFC. As propriedades mecânicas modeladas são as exigidas pelas normas técnicas italianas para a construção [18], que constituem uma referência para a análise estrutural de edifícios antigos de alvenaria. É considerada a utilização de uma lei material não linear para a alvenaria e de uma lei linear para a madeira e o betão armado. As propriedades são apresentadas na Tabela 1.



**Figura 2**  
Perspetivas do modelo  
do agregado.

Tabela 1: Propriedades mecânicas necessárias para os materiais

Alvenaria	Madeira	Betão armado
Módulo de Young	Módulo de Young	Módulo de Young
Coefficiente de Poisson	Coefficiente de Poisson	Coefficiente de Poisson
Peso específico	Peso específico	Peso específico
Resistência à compressão	-	-
Resistência à tração	-	-
Módulo de distorção		

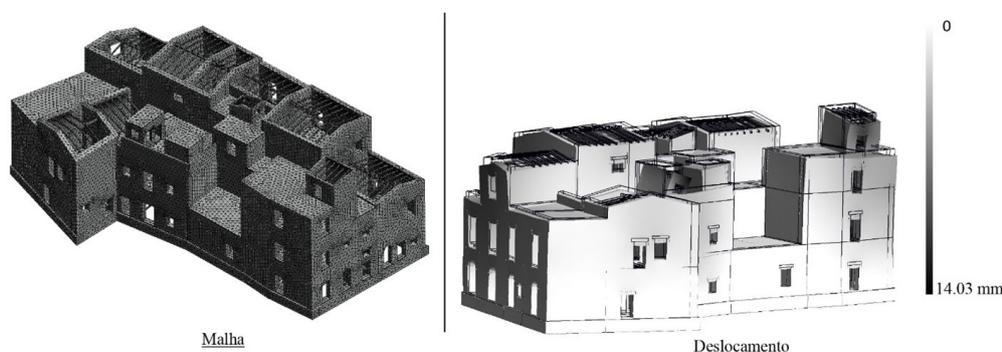
Após a modelação do agregado este é exportado para IFC, utilizando o *Model View Definition Design Transfer*. As informações não gráficas foram mapeadas para IFC como “IfcProperty” associadas ao material (“IfcMaterial”) correspondente.

### 3.2. Resultados

A metodologia proposta foi aplicada ao modelo IFC. Foi gerada uma malha de tamanho máximo de 450 mm para garantir um meio-termo entre o custo computacional e precisão. A malha é refinada nos pontos mais críticos da geometria, onde uma malha mais esparsa não representaria a geometria de forma consistente. A malha resultante é composta por 33527 elementos finitos. Foram efetuadas análises modais (de valores e vetores próprios) e análises estáticas à ação gravítica.

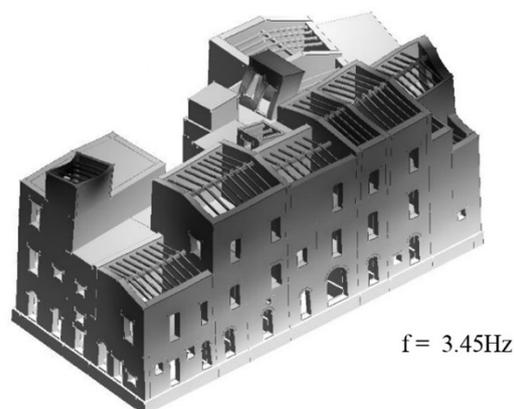
A análise modal foi efetuada para determinar as frequências e os modos de vibração da estrutura, permitindo uma avaliação rápida das suas características dinâmicas. Foram considerados os primeiros 300 modos, garantindo que a massa modal efetiva acumulada nas direções X e Y representasse pelo menos 90% da massa da estrutura. Posteriormente, a análise estática foi efetuada aplicando linearmente o peso próprio dos elementos estruturais e os deslocamentos foram avaliados.

A Figura 3 mostra a malha gerada (esquerda) e a deformação associada à análise do peso próprio (direita). Na análise do peso próprio observa-se uma maior tendência para a deformação de algumas partes do edifício, principalmente nas partes mais altas, sobretudo onde existem acrescentos posteriores, e nas paredes triangulares.



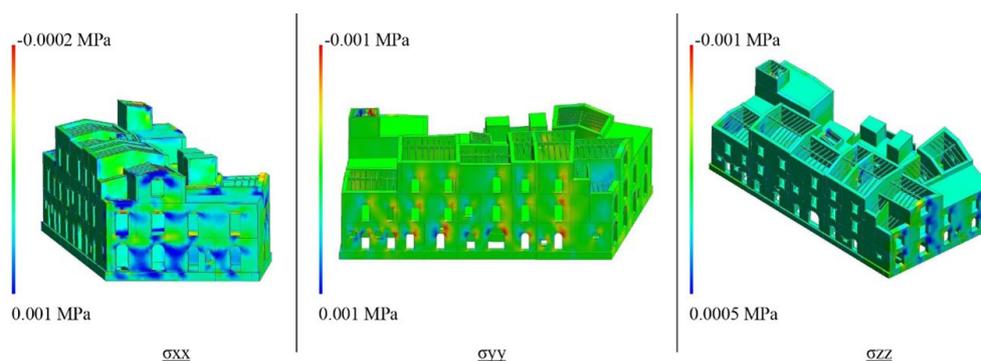
**Figura 3**  
Modelo do agregado.

Na análise modal, por outro lado, observa-se o efeito agregado, em que partes do agregado se movem em conjunto e o movimento de uma célula influencia o das células adjacentes. Além disso, observam-se grandes deslocamentos no topo da cobertura. A figura 4 mostra a deformação associada ao 4.º modo de vibração e a frequência do modo.



**Figura 4**  
Deformação e frequência associada ao 4.º modo de vibração.

Foi também calculada a distribuição de tensões no edifício. Verifica-se uma concentração de tensões principalmente na proximidade das aberturas, visível sobretudo nas duas direções horizontais do edifício (x e y). Sendo uma análise gravitacional, na direção z existe uma concentração de tensões nas zonas de contacto entre células adjacentes. Isto demonstra a importância de uma análise global, pois permite considerar as interações entre as habitações e a forma como estas afetam o comportamento global da estrutura (Figura 5).



**Figura 5**  
Distribuição das tensões.

## 4. Conclusões

A aplicação da análise numérica global à análise estrutural de agregados de alvenaria tradicional continua a ser um grande desafio para os profissionais. Para abordar este problema, é apresentada uma nova metodologia OpenBIM para análise por elementos finitos. A metodologia foi aplicada com sucesso a um caso de estudo Italiano.

O principal desafio foi a interoperabilidade entre o modelo BIM (em IFC) e o modelo de elementos finitos. Para resolver este problema, foi desenvolvido um código em Python que converte o formato IFC num formato de geometria legível pelo 'software' Gmsh, que foi utilizado para gerar a malha de elementos finitos. Esta foi depois utilizada para efetuar a análise utilizando o OpenSees. As características mecânicas dos elementos estruturais são também retiradas do modelo IFC. A metodologia desenvolvida é totalmente automática e baseada em formatos abertos, tornando-se facilmente reproduzível.

Do ponto de vista da análise estrutural, a metodologia permitiu a análise estrutural de um agregado inteiro, modelando os elementos de alvenaria, mas também os outros elementos estruturais. Trata-se de um avanço na literatura, uma vez que este método nunca tinha sido aplicado até à data. Assim, conseguiu-se ultrapassar um dos principais obstáculos que causam a aplicação limitada deste método aos agregados de alvenaria, nomeadamente, o desafio prático de modelar estas estruturas e as suas intrincadas geometrias. A utilização da modelação BIM desempenhou um papel importante neste desenvolvimento, uma vez que simplificou a modelação e a gestão da informação.

Este trabalho é o ponto de partida de um projeto mais vasto, e existem várias perspectivas de expansão e aperfeiçoamento da metodologia proposta. Futuramente, serão efetuadas análises não lineares estáticas e dinâmicas de modo a tirar o máximo partido da ferramenta desenvolvida. Isto será possível graças à possibilidade de executar análises em paralelo e reduzir os custos computacionais. Serão realizadas novas investigações para modelar em pormenor as ligações entre os elementos estruturais, permitindo automatizar a modelização estrutural de elementos com ligações imperfeitas. Por último, será melhorada a experiência do utilizador, através de uma interface gráfica, e a interoperabilidade com outros sistemas de dados (ex: bases de dados e ontologias).

## 5. Agradecimentos

This work was partly financed by FCT / MCTES through national funds (PIDDAC) under the R&D Unit Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering (ISISE), under reference UIDB / 04029/2020 ([doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020](https://doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020)), and under the Associate Laboratory Advanced Production and Intelligent Systems ARISE under reference LA/P/0112/2020.

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, ao abrigo do contrato da bolsa 2022.10204.BD atribuída ao 1.º autor.

## 6. Referências

- [1] I. S. C. F. A. A. O. S. O. A. H. ICOMOS, "Recommendations For The Analysis, Conservation And Structural Restoration Of Architectural Heritage," 2005.
- [2] Antonino Giuffré, C. F. Carocci, and C. Tocci, *Leggendo il libro delle antiche architetture. Aspetti statici del restauro. Saggi 1985-1997*. 2010.
- [3] C. F. Carocci, "Small centres damaged by 2009 L'Aquila earthquake: On site analyses of historical masonry aggregates," *Bull. Earthq. Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 45-71, Feb. 2012, doi: 10.1007/s10518-011-9284-0.
- [4] L. Battaglia, T. M. Ferreira, and P. B. Lourenço, "Seismic fragility assessment of masonry building aggregates: A case study in the old city Centre of Seixal, Portugal," *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, vol. 50, no. 5, pp. 1358-1377, Apr. 2021, doi: 10.1002/eqe.3405.
- [5] T. M. Ferreira and R. Ramírez Eudave, "Assessing and Managing Risk in Historic Urban Areas: Current Trends and Future Research Directions," *Front. Earth Sci.*, vol. 10, Mar. 2022, doi: 10.3389/feart.2022.847959.
- [6] M. Angiolilli, S. Lagomarsino, S. Cattari, and S. Degli Abbatì, "Seismic fragility assessment of existing masonry buildings in aggregate," *Eng. Struct.*, vol. 247, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.engstruct.2021.113218.
- [7] N. Grillanda, M. Valente, G. Milani, A. Chiozzi, and A. Tralli, "Advanced numerical strategies for seismic assessment of historical masonry aggregates," *Eng. Struct.*, vol. 212, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.engstruct.2020.110441.
- [8] M. Valente, G. Milani, E. Grande, and A. Formisano, "Historical masonry building aggregates: advanced numerical insight for an effective seismic assessment on two row housing compounds," *Eng. Struct.*, vol. 190, no. April, pp. 360-379, 2019, doi: 10.1016/j.engstruct.2019.04.025.
- [9] T. Yamashita and K. Kajiwara, "Petascale Computation for earthquake Engineering," 2011.
- [10] P. Crespi *et al.*, "From BIM to FEM: the analysis of an historical masonry building," *Build. Inf. Model. Des. Constr. Oper.*, vol. 1, no. September, pp. 581-592, 2015, doi: 10.2495/bim150471.
- [11] A. Ursini, A. Grazzini, F. Matrone, and M. Zerbinatti, "From scan-to-BIM to a structural finite elements model of built heritage for dynamic simulation," *Autom. Constr.*, vol. 142, no. July, p. 104518, 2022, doi: 10.1016/j.autcon.2022.104518.
- [12] R. Rolin, E. Antaluca, J. L. Batoz, F. Lamarque, and M. Lejeune, "From point cloud data to structural analysis through a geometrical hBIM-oriented model," *J. Comput. Cult. Herit.*, vol. 12, no. 2, Jun. 2019, doi: 10.1145/3242901.

- [13] Antonino Giuffré, *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*. 1993.
- [14] IfcOpenShell Contributors, "IfcOpenShell Documentation," 2020. <https://ifcopenshell.github.io/docs/python/html/index.html> (accessed Oct. 04, 2022).
- [15] Paviot, "PythonOCC," 2018. <https://github.com/tpaviot/pythonocc> (accessed Sep. 03, 2023).
- [16] J.A. Abell, "Gmsh2Opensees," 2022. <https://github.com/jaabell/gmsh2opensees> (accessed Sep. 03, 2023).
- [17] M. Zhu, "OpenSeesPy," 2019. <https://openseespydoc.readthedocs.io/en/latest/> (accessed Sep. 03, 2023).
- [18] Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti, *Technical Standards for Constructions*, no. Ntc. 2018.



# BIM no controlo de segurança de barragens de betão: Uma ferramenta de apoio às inspeções visuais

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.12>

**Carlos Serra<sup>1</sup>, João Conde Silva<sup>2</sup>,  
José Granja<sup>3</sup>, Miguel Azenha<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Barragens de Betão, Lisboa, Portugal, 0000-0003-0656-9313*

<sup>2</sup> *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Barragens de Betão, Lisboa, Portugal, 0000-0003-4493-1483*

<sup>3</sup> *Universidade do Minho, IRISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0000-0002-0858-4990*

<sup>4</sup> *Universidade do Minho, IRISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0000-0003-1374-9427*

## Resumo

As inspeções visuais constituem uma atividade importante do controlo de segurança de barragens. O registo continuado de anomalias e ocorrências permite ao dono de obra acompanhar e manter o estado da obra e do sistema de observação e planear eventuais reparações e processos de reabilitação.

Atualmente, é prática corrente recorrer a fichas de inspeção visual para o registo das ocorrências em cada elemento estrutural da obra e elaborar relatórios técnicos em que se descreve a evolução do estado de conservação desde a última inspeção.

Este trabalho apresenta uma proposta para a implementação BIM a inspeções visuais de barragens de betão com o objetivo de sistematizar e digitalizar a informação proveniente das fichas de inspeção para um modelo BIM tridimensional. Pretende-se que o modelo BIM seja utilizado para melhorar a visualização das ocorrências ao longo do tempo.

Este trabalho constitui o primeiro passo com vista à criação do sistema integrado BIM de análise de dados gerados automaticamente e de inspeções visuais.

Apresenta-se uma proposta de utilização de formulários digitais pré-definidos para o registo das ocorrências e para exportação sistematizada da informação para o modelo BIM tridimensional. Propõem-se as regras de modelação da barragem para a fase de exploração da obra e a definição e classificação de objetos BIM para a estrutura, para as ocorrências e para os instrumentos, incluindo a definição das propriedades para o registo da informação.

## 1. Introdução

Entre os aspetos mais relevantes para melhorar a longevidade de uma barragem de betão destacam-se a deteção precoce de anomalias por forma a evitar intervenções de reabilitação demasiado onerosas [1]. Tendo em consideração que cada vez mais obras se aproximam do término da sua vida útil, a sistematização das inspeções visuais das construções constitui uma inegável mais-valia e uma necessidade cada vez mais premente. A metodologia *Building Information Modelling* (BIM) define uma abordagem sistemática para o desenvolvimento das atividades de controlo de segurança de barragens, incluindo a componente das inspeções visuais [2].

Existem alguns exemplos de aplicação da metodologia BIM a barragens de betão, alguns dos quais em fase de projeto [3, 4] e a visualização da informação recolhida por instrumentos de observação instalados em barragens de aterro [5]. No caso particular de inspeções de pontes, Sousa et al. [6] introduziram com sucesso os resultados de inspeções num modelo BIM e Abudayyeh et al. [7] propuseram uma metodologia automatizada de inspeção de pontes, assim como uma discussão detalhada dos esforços de modelação de dados envolvidos no desenvolvimento do modelo de informações de imagem. Neste último, abordam-se técnicas automáticas de análise e interpretação de imagens que vão no sentido de explorar a inteligência artificial (IA).

O Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) [8] determina que o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) é consultor da Autoridade Nacional de Segurança de Barragens em matéria de controlo de segurança das cerca de seis dezenas de grandes barragens existentes em Portugal. Entre outras atividades, o RSB determina que o LNEC efetue visitas de especialidade periódicas. As visitas de especialidade incluem inspeções visuais detalhadas à estrutura e ao sistema de observação, para além das inspeções visuais de rotina, efetuadas regularmente pelo dono de obra. Tendo em consideração o seu papel singular no contexto do controlo de segurança de barragens e a sua atividade de inspeção regular, o LNEC tem vindo a desenvolver esforços para a digitalização destas atividades através, numa primeira fase, da definição de critérios de uniformização com vista ao desenvolvimento de modelos BIM para apoio à decisão.

O RSB não coloca entraves à utilização de ferramentas de apoio ao desenvolvimento das atividades regulamentadas pelo mesmo, viabilizando assim a implementação da metodologia BIM a este âmbito. Não obstante, perspetiva-se como desafiante a adaptação das normas BIM à realidade portuguesa do RSB e às especificidades das atividades desenvolvidas, em particular durante a fase de exploração (por exemplo, a realização e incorporação dos resultados de inspeções) [2].

O recurso à metodologia BIM para o projeto, construção e operação de barragens de betão, em particular a sua aplicação a inspeções visuais é ainda limitada. Para que se possa recorrer, de uma forma sistemática, a este tipo de metodologia propõem-se as bases para a definição e classificação de objetos BIM para a estrutura, para as ocorrências e para os instrumentos, incluindo a definição das propriedades para o registo

da informação, sendo a base para a publicação de recomendações para a definição dos requisitos de informação (à semelhança dos “*Exchange Information Requirements*” definidos na ISO19650-1 [9]). Também se propõe uma nova metodologia de registo das ocorrências in situ para otimizar o fluxo de informação entre o LNEC e os donos de obra e entre o sistema de gestão da informação e o modelo BIM. No que diz respeito ao BIM, são indicados alguns dos aspetos relevantes para a sua implementação a este tipo de atividade,

## 2. Metodologia proposta para inspeções visuais de barragens de betão

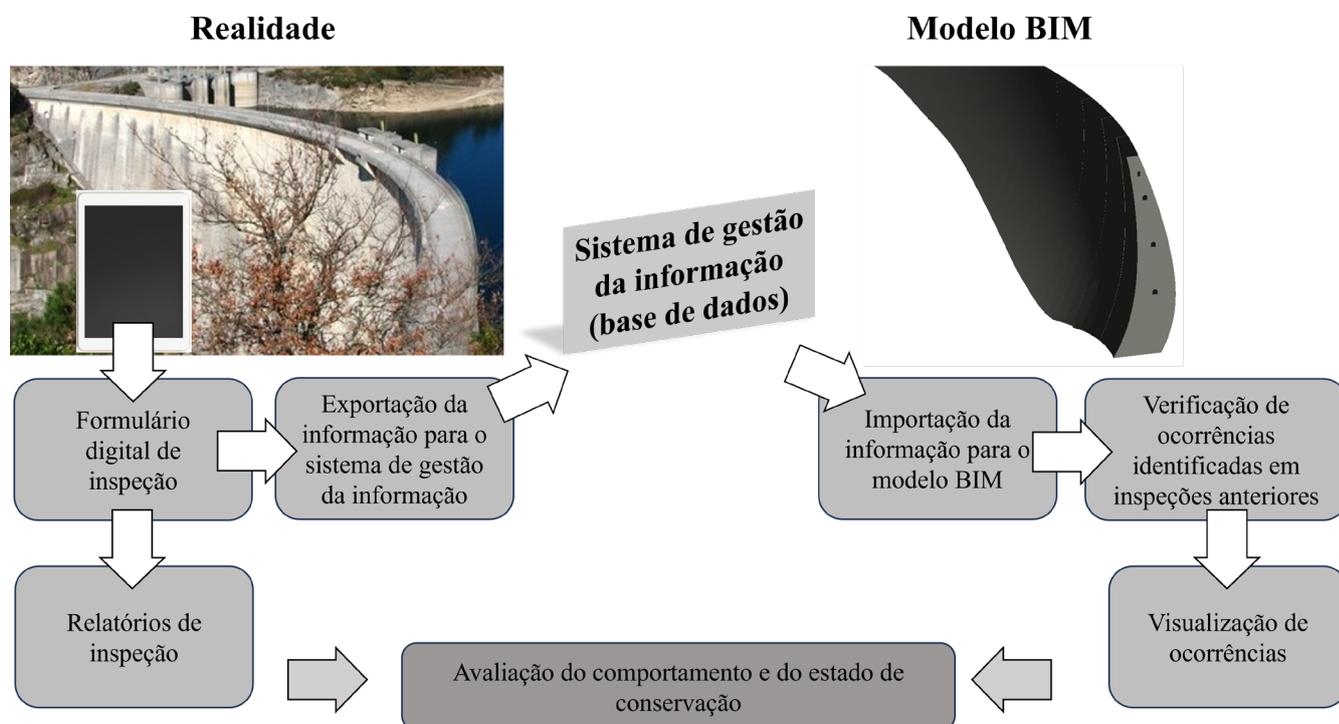
O artigo apresenta uma exemplificação da implementação da metodologia BIM aplicada às inspeções visuais de barragens de betão para a avaliação sistemática do seu comportamento e do seu estado de conservação. Atualmente, o procedimento consiste apenas na execução de inspeções de rotina por parte do Dono de Obra e inspeções de especialidade por parte do LNEC e envio dos respetivos relatórios. O procedimento proposto, para além do que já é prática corrente de envio de relatórios, consiste no armazenamento da informação recolhida no sistema de gestão da informação, partilhado pelos intervenientes, e no registo de ocorrências em modelo BIM federado e posterior envio em formato *BIM Collaboration Format* (BCF). Este artigo estabelece as bases para a definição de formulários digitais de inspeção padronizados e a definição dos objetos BIM e os requisitos de informação. Não é abordado o envio das ocorrências em formato BCF.

A proposta para a implementação prevê que as ocorrências observadas sejam registadas em formulários digitais de inspeção de uma aplicação informática e exportadas para o sistema de gestão da informação (base de dados) e para relatórios técnicos de inspeção. De seguida, a informação é importada para o modelo BIM da barragem para obter uma visualização tridimensional das ocorrências, bem como os resultados da inspeção (Figura 1).

Numa primeira parte, recorre-se à utilização de formulários digitais para o registo de ocorrências utilizando ferramentas informáticas. A estrutura dos formulários permite que a informação recolhida seja armazenada de forma sistemática no sistema de gestão da informação e posteriormente integrada num modelo BIM para a visualização das ocorrências. A estruturação da informação no sistema de gestão de informação não será abordada neste artigo. A segunda parte da metodologia proposta implica a definição das regras de modelação e dos requisitos de informação para os objetos BIM relacionados com a estrutura, as ocorrências e a instrumentação e a sua estruturação no modelo BIM, em formato aberto utilizando o esquema IFC. São discutidos os aspetos gerais sobre as regras de modelação essenciais ao desenvolvimento do modelo BIM e definido o nível de granularidade exigido.

Dada a fase inicial dos trabalhos de implementação, ainda não estão definidos *Product Data Templates* para os vários objetos BIM em barragens de betão e para as ocorrências existentes neste tipo de estruturas. Neste artigo apresentam-se alguns

exemplos da definição de Níveis de Informação Necessária (*Level of Information Need*) para o propósito BIM de visualização de ocorrências. Esta definição constitui, neste momento, a base para a construção do modelo BIM, no que diz respeito a aspetos geométricos e de informação.



### 3. Implementação e desenvolvimento

#### 3.1. Proposta para o registo digital das ocorrências

O registo das ocorrências identificadas no âmbito de uma inspeção visual de barragens de betão no LNEC não está ainda automatizado. A introdução de um método mais automatizado pode ser efetivada através da criação de formulários customizados para cada barragem, por forma a reduzir também o tempo investido durante a inspeção. Estes devem estar organizados em função da zona a inspecionar e dos percursos típicos dos técnicos ao longo da inspeção e devem contemplar as particularidades de cada barragem.

Neste contexto, utilizou-se uma das inúmeras ferramentas informáticas (*app*) de auscultação “online” disponíveis gratuitamente (*freeware*) para realizar um esboço de formulário de inspeção visual, adaptado a uma barragem protótipo [10] como prova de conceito. A utilização desta aplicação informática em particular, em detrimento de uma alternativa, deve-se à sua facilidade de utilização e permitir o preenchimento dos formulários através de dispositivos móveis “offline”. Outra vantagem desta aplicação é a opção de exportação dos dados recolhidos em formato de relatório e em

**Figura 1**  
Ilustração da abordagem proposta para a avaliação do comportamento e do estado de conservação de barragens de betão baseada em inspeções visuais e modelo BIM.

formato de tabela, o que permite a apresentação imediata do relatório da inspeção ao dono de obra, o tratamento dos dados, a exportação dos resultados para o sistema de gestão da informação e, posteriormente, para o modelo BIM.

A plataforma permite a formulação de questões cuja resposta pode ser inserida em formatos de caixa de texto, data, número, caixas de seleção e escolha múltipla, permitindo também o *upload* de documentos e fotografias. O software possibilita também a criação de grupos com campos repetíveis, o que permite acrescentar, durante a inspeção, várias ocorrências do mesmo tipo, todas elas com as mesmas questões.

A proposta deste trabalho para estrutura de dados é baseada na organização da informação existente no atual sistema de gestão de informação, o “GestBarragens”. Para o propósito BIM tratado neste trabalho, propõe-se a introdução de mais duas categorias para ter maior refinamento, nomeadamente através da introdução da categoria “SubSubElementos”, e para definir a base de dados do registo das inspeções visuais, nomeadamente através da categoria “Ocorrências” (Tabela 1). A estrutura apresentada constitui a base para a definição de formulários digitais para o registo das ocorrências durante uma visita de inspeção e para a definição e relação entre os objetos BIM no modelo tridimensional.

As ocorrências compreendem aspetos genéricos, tais como qualidade da iluminação ou aspeto geral do betão, e aspetos mais específicos como a fendilhação/fissuração (onde se descreve cada uma das fendas e fissuras identificadas – Figura 2), singularidades no betão, água e humidades, exsudação / depósitos ou encaminhamento da água drenada e infiltrada. As ocorrências existentes nos instrumentos de observação (por exemplo: em piezómetros, bases tridimensionais ou de alongâmetro, fios de prumo) também serão registadas durante a inspeção, no mesmo formulário, à semelhança das restantes ocorrências. Propõe-se que a informação estruturada recolhida durante as inspeções seja armazenada no sistema de gestão da informação e visualizada em modelo BIM, em objetos BIM padronizados segundo os critérios propostos nas subseções seguintes. Note-se que neste tipo de soluções, coloca-se o problema da segurança dos dados envolvidos, dada a sensibilidade e relevância dos mesmos. No futuro, a viabilidade deste tipo de formulários será apenas possível através de uma ferramenta informática alojada nos servidores do LNEC, que garanta uma proteção total de toda a informação.

Tabela 1: Estrutura das entidades existentes no sistema de gestão da informação e proposta de integração de entidades relacionadas com as ocorrências na estrutura

Elementos	SubElementos	SubSubElementos (*)	Ocorrências (*)	
	Blocos	Camada	Fendas/fissuras, Repasse/infiltrações/escorrências	
	Juntas de contração	-	Junta anormalmente aberta, Repasse/infiltrações/escorrências Depósitos/exsudação	
	Paramentos	-	Fendas/fissuras, Lascagem/Delaminação, Depósitos/exsudação	
Superestrutura	Galerias	Teto	Fendas/fissuras,	
		Piso	Lascagem/Delaminação,	
		Hasteal	Depósitos/exsudação Defeitos na captação de infiltrações	
			Caleira	Defeitos de limpeza nas caleiras
			Nichos	Fendas/fissuras
		Junta de betonagem (*)	-	Repasse/infiltrações/escorrências, Depósitos/exsudação, defeitos na captação de infiltrações
			Piso	Acumulação de água
		Coroamento	Guardas	Fendas/fissuras, Lascagem/Delaminação, Corrosão
			Passeios	Degradação do betão
		Inserção na fundação (*)	-	Ressurgência

(\*) Entidades não existentes no sistema de gestão de informação existente

Figura 2

Formulário criado na aplicação DataScope: alguns dos campos criados para inserção e descrição de fenda / fissura durante a vista de inspeção, através da opção grupos com campos repetíveis.

The figure displays four sequential screenshots of the 'Fenda / Fissura #1' form in the DataScope application. Each screenshot shows a different part of the form:

- First Screenshot:** Shows the main form with a search bar and a list of locations (Teto, Hasteal de jusante, Piso, Hasteal de montante). A button '+ ADICIONAR DADOS' is visible.
- Second Screenshot:** Shows the 'Localização' field with a search bar and a list of locations. The 'Hasteal de jusante' option is selected.
- Third Screenshot:** Shows the 'Distância da fissura / fenda...' field with a search bar and a list of distances. The '...à junta da MD (m)' option is selected with a value of 5.
- Fourth Screenshot:** Shows the 'Abertura (mm)' field with a search bar and a list of opening sizes. The '< 0,2 mm' option is selected.

### 3.2. Definição das regras de modelação BIM de barragens de betão e de ocorrências

As definições de regras de modelação proporcionam a padronização dos modelos e objetos BIM por forma a facilitar a organização, pesquisa, extração, quantificação e visualização da informação.

A estrutura da barragem deverá ser constituída por elementos de volume que representem a volumetria real da estrutura. Deverão ser definidos elementos individuais de volume correspondentes aos blocos da barragem, separados por juntas de contração. Para o propósito BIM de visualização de ocorrências é essencial a existência de galerias através da criação de vazios no interior dos volumes da barragem. Uma vez que existem várias ocorrências associadas ao processo construtivo das juntas de betonagem, os elementos individuais de volume deverão corresponder às camadas de betão de cada bloco por forma a que as juntas de betonagem estejam explicitamente representadas.

As ocorrências poderão ser representadas geometricamente como elementos *Patch* [6] colocados junto ao local da ocorrência e que contêm a informação obtida durante a inspeção visual. A forma e cor dos elementos *Patch* poderá estar relacionada com o tipo de ocorrência utilizando uma codificação predefinida, em termos de forma e cor. Por exemplo: *Patch* correspondentes a ocorrências visualizadas em superfícies (fendas, repasses ou depósitos) deverão ser objetos BIM planos e posicionados junto à superfície em que foram observados (tetos, paramentos, pisos, hasteais); *Patch* de fendas deverão ser elementos alongados com o comprimento da fenda; Defeitos de limpeza nas caleiras poderão ser representados por objetos BIM cúbicos com a dimensão da caleira. Idealmente, as dimensões dos *Patch* deverão ter algum grau de parametrização para representar a dimensão da ocorrência, como o desenvolvimento de uma fenda ou a área de um depósito (Tabela 2). Em relação à instrumentação, poderão ser utilizados objetos BIM com uma forma tridimensional correspondente à simbologia usualmente utilizada em desenhos técnicos de barragens, como ilustrado na Tabela 2.

Em geral, deverá seguir-se o disposto na proposta de regras de modelação de objetos BIM definida na especificação técnica da comissão nacional de redação CT197 [11]. A nomenclatura de objetos BIM deverá seguir a seguinte estrutura: <Fonte>\_<Tipo>\_<Subtipo>\_<Diferenciador\_n> (Tabela 3) e as propriedades deverão ser organizadas em conjuntos de propriedades (*Property Sets – Pset*). Deverá adotar-se a estrutura do esquema *Industry Foundation Classes* (IFC) [12] para cada objeto BIM e, sempre que possível, os objetos BIM deverão utilizar elementos já existentes no esquema IFC (por exemplo, *IfcSensorType* para a instrumentação na Tabela 3). Quando não existem *IfcElementType* correspondentes aos objetos pretendidos deverá recorrer-se ao *IfcElementType* genérico “*IfcBuildingElementProxy*” e ao *Predefined Type* “*USERDEFINED*”. No caso particular de barragens de betão, não existem muitas opções adequadas na versão IFC4, pelo que se propõe uma estrutura IFC para os principais elementos estruturais, instrumentação e ocorrências (Tabela 3).

De acordo com a EN 17412-1:2020 [13], os pré-requisitos associados às razões pelas quais se define a informação, o momento de produção e entrega da informação, de quem e para quem é a informação e sobre que objeto se trata a informação constitui a base para a definição do nível de informação necessário e de como essa informação é definida, em termos de Informação Geométrica, Informação Alfanumérica e Documentação. A Tabela 4 apresenta um exemplo de uma das principais ocorrências, “Fenda”.

Complementarmente, por forma a estabelecer as bases para a interoperabilidade, em formato aberto utilizando o esquema IFC a Tabela 5 estrutura a proposta dos conjuntos de propriedades da classe de IFC (*Property Sets – Pset*) para o exemplo de um objeto BIM do tipo Fenda, incluindo o tipo de dados a inserir em cada propriedade e o tipo de escolha possível: *P\_SINGLE-VALUE* permite apenas a atribuição de um valor; *P\_ENUMERATED-VALUE* permite a enumeração de várias opções, à semelhança do que é definido nos formulários digitais (§3.1).

Tabela 2: Proposta para definição de *Patch* em objetos BIM de ocorrências e simbologia de instrumentação

Tipo	Subtipo/Diferenciador	Patch		
		Forma	Cor	Exemplo
Ocorrência	Fenda	Forma alongada com o comprimento igual ao desenvolvimento da fenda	Vermelho	
	Repasse	Forma alongada com o comprimento igual ao desenvolvimento do repasse	Azul	
	Depósito	Superfície retangular com altura e comprimento correspondente à área do depósito	Branco	
	Ressurgência	Superfície circular	Azul	
Instrumentação	Base de coordenómetro	Simbologia específica de barragens	Vermelho	
	Dreno	Simbologia específica de barragens	Azul	

Tabela 3: Proposta para a nomenclatura de objetos BIM e estrutura do esquema IFC

Tipo	Subtipo	Diferenciador	Exemplo nomenclatura de objetos BIM	Proposta estrutura IFC		
				IfcElementType	Predefined Type	Object type
Bloco	Camada	ComGaleria/ SemGaleria	Generico_Bloco_ Camada_SemGaleria	<i>IfcSlabType</i>	<i>USERDEFI- NED</i>	<i>Block_ Layer</i>
Ocorrência	Fenda	NA	Generico_Ocorrencia_ Fenda_NA			<i>Crack</i>
Ocorrência	Repasse	NA	Generico_Ocorrencia_ Repasse_NA	<i>IfcBuildingElement Proxy</i>	<i>USERDEFI- NED</i>	<i>Leakage</i>
Ocorrência	Depósito	NA	Generico_Ocorrencia_ Deposito_NA			<i>Deposit</i>
Ocorrência	Ressurgência	NA	Generico_Ocorrencia_ Ressurgencia_NA			<i>Seepage</i>
Instrumentação	FioPrumo	BaseCoordi- nometro	Generico_Instrumen- tacao_FioPrumo_Base- Coordinometro	<i>IfcSensor- Type (IFC 4)</i>	<i>USERDEFI- NED</i>	<i>Plumbline_ Base</i>
Instrumentação	Dreno	Galeria/Ex- terior	Generico_Instrumenta- cao_Dreno_Galeria			<i>Drainage_ Gallery</i>

Tabela 4: Exemplo da especificação do nível de informação necessário para o objeto BIM “Fenda/Fissura” na fase de inspeção visual e para o propósito BIM de representação visual de ocorrências, segundo a EN 17412-1:2020

<b>Marco de entrega de informação:</b>	Inspeção visual de especialidade
<b>Uso BIM:</b>	Representação visual de ocorrências de inspeções visuais em modelo BIM
<b>Interveniente:</b>	LNEC
<b>– Objeto:</b>	Fenda / Fissura
<b>– Informação geométrica:</b>	
– Detalhe:	Não aplicável
– Dimensionalidade:	2D ou 3D
– Localização:	Relativa à junta da M.D. e relativa ao piso
– Aparência:	Simbólico
– Comportamento paramétrico:	Parcial
<b>– Informação alfanumérica:</b>	
– Identificação	Nome
– Informação:	(ver Tabela 5)
<b>– Documentação:</b>	Desenhos técnicos (alçados)

Tabela 5: Proposta para os conjuntos de propriedades da classe de IFC (*Pset*) para uma fenda

Proposta conjuntos de propriedades da classe de IFC ( <i>Pset</i> )						
Tipo	Subtipo	Object Property Sets	Property	Primary Measure Type	Template Type	
Ocorrência	Fenda	LocalizacaoFenda	DistanciaMD	<i>IfcReal</i>	<i>P_SINGLEVALUE</i>	
			DistanciaPiso	<i>IfcReal</i>	<i>P_SINGLEVALUE</i>	
			Localizacao	<i>IfcLabel</i>	<i>P_ENUMERATEDVALUE</i>	
		PropriedadesFenda	Abertura	<i>IfcReal</i>	<i>P_SINGLEVALUE</i>	
			Desenvolvimento	<i>IfcReal</i>	<i>P_SINGLEVALUE</i>	
			Orientacao	<i>IfcLabel</i>	<i>P_SINGLEVALUE</i>	
		LinkFotografia	Tipo	<i>IfcLabel</i>	<i>P_ENUMERATEDVALUE</i>	
			LinkFotografia	<i>IfcLabel</i>	<i>P_SINGLEVALUE</i>	
			Classificação	<i>IfcClassification-Reference</i>	<i>IfcLabel</i>	<i>P_SINGLEVALUE</i>
				<i>IfcClassification</i>	<i>IfcLabel</i>	<i>P_SINGLEVALUE</i>

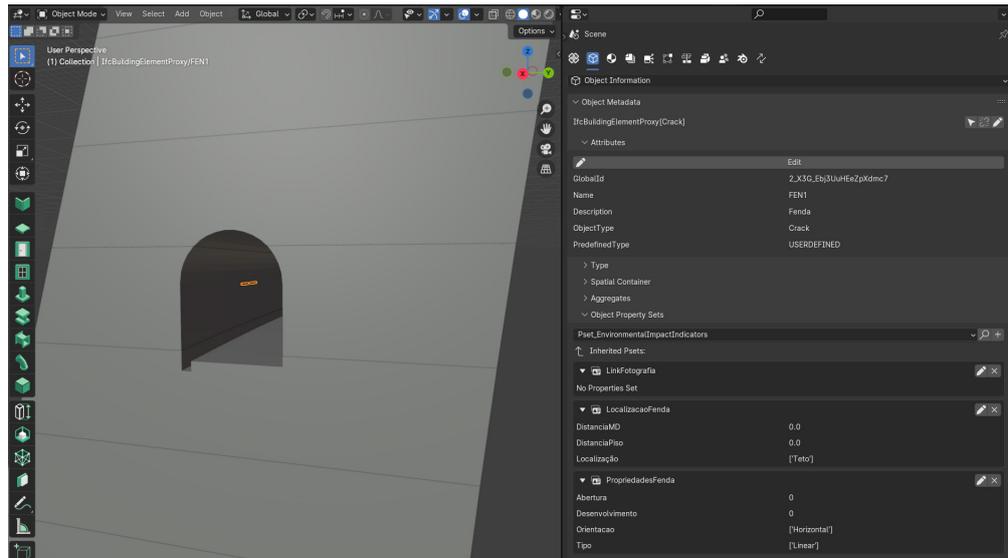
#### 4. Aplicação prática a uma barragem protótipo

Nesta seção apresenta-se uma aplicação da estrutura anteriormente apresentada para o caso de uma das ocorrências a um modelo BIM de barragem protótipo do tipo abóbada. A barragem foi modelada num trabalho prévio cujo objetivo era a simulação do faseamento construtivo de barragens [14]. Neste caso a modelação da barragem foi efetuada recorrendo a programação visual no plugin *Dynamo* do REVIT, permitindo o estabelecimento de modelação paramétrica. Foram modeladas as camadas de betão de cada bloco como elementos individualizados e as galerias de visita foram obtidas através da criação de vazios no interior das camadas. O modelo BIM da barragem serviu de base para exemplificar a proposta de implementação BIM das inspeções visuais, com a estrutura de dados semelhante à utilizada nos formulários da aplicação DataScope.

A manipulação da informação seguindo o esquema IFC foi feita diretamente através do *software* Blender e do *Add-on* BlenderBIM, que é nativo em IFC. Uma vez que este tipo de estrutura e ocorrências não estão incluídas no esquema IFC é necessário utilizar a proposta de estrutura IFC para os objetos BIM, apresentada na Tabela 4 e a proposta de conjuntos de propriedades da classe de IFC (*PropertySet-Pset*), apresentada na Tabela 5. A Figura 3 apresenta a representação da ocorrência “Fenda” com as respetivas propriedades alfanuméricas identificadas anteriormente (organizadas em *Property Sets*). Neste caso, optou-se por uma forma geométrica simbólica (*Patch*) alongada para a ocorrência “Fenda”, com o desenvolvimento real da fenda e colocado na proximidade do local (Elementos/SubElementos/SubSubElementos) em que foi observado (Tabela 3).

**Figura 3**

Visualização da representação de uma fenda com os respetivos atributos e propriedades, definidos em *Property Sets*.



## 5. Considerações finais

Neste artigo discutiram-se os aspetos relevantes para a implementação BIM em inspeções visuais de barragens de betão. Foram propostos alguns pontos essenciais para a implementação, tais como a granularidade do modelo, a informação a introduzir em cada tipo de objeto BIM, as regras de modelação e a estruturação da informação segundo o esquema IFC. O trabalho encontra-se em fase de desenvolvimento, sendo necessária a generalização da normalização para os restantes elementos estruturais, ocorrência e instrumentação, com a interação entre os vários intervenientes neste tipo de atividades.

Ao nível dos desenvolvimentos futuros, pretende-se melhorar e automatizar os procedimentos apresentados no presente documento, desde o registo das ocorrências das inspeções visuais até a sua visualização em modelo BIM. Adicionalmente, pretende-se complementar esta investigação com estudos que visam a implementação BIM a outras atividades do controlo e segurança de barragens de betão, no contexto nacional.

## Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Engenharia de Estruturas (ISISE), sob a referência UIDB/04029/2020 (doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020), e sob o Laboratório Associado de Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE sob a referência LA/P/0112/2020. Os autores agradecem a disponibilização do modelo BIM desenvolvido por Luís Fernandes [14].

## Referências

- [1] J. C. Silva and C. Serra, "Injection of discontinuities in concrete dams with cement-based grouts", *J. Struct. Integr. Maint.* 7(4), pp. 252-264, Taylor&Francis, 2022b. <https://doi.org/10.1080/24705314.2022.2088070>.
- [2] C. Serra, "As potencialidades e desafios da implementação BIM adaptada ao controlo de segurança estrutural de barragens de betão", in *ptBIM 2022 – 4.º Congresso Português de Building Information Modelling*, Braga, Portugal, 2022.
- [3] A. Marques, "Implementação de metodologias BIM na Direção de Engenharia de Barragens da EDP: Casos de estudo de projeto de estruturas em obras Hidroelétricas", Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2015.
- [4] A. Marques, M. Azenha, and A. Ferreira, "BIM no projeto de estruturas de obras hidroelétricas", in *ptBIM 2016 – 1.º Congresso Português de Building Information Modelling*, Guimarães, Portugal, 2016, pp. 163-172.
- [5] A. Heleno, "BIM for information management in structural safety control of embankment dams", Dissertação de mestrado em European Master in Building Information Modelling, Universidade do Minho, 2021.
- [6] G. Sousa, M. Azenha, J. Matos and V. Brito, "Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de obras de arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto", *ptBIM 2018 – 2.º Congresso Português de Building Information Modelling*, Lisboa, Portugal, 2018, pp. 519-528.
- [7] O. Abudayyeh, M. Al Bataineh and I. Abdel-Qader, "An imaging data model for concrete bridge inspection", *Advances in Engineering Software*, Volume 35, Issues 8-9, 2004, Pages 473-480, ISSN 0965-9978. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2004.06.010>.
- [8] RSB, "Regulamento de Segurança de Barragens", Portugal, 2018.
- [9] CEN, "EN ISO 19650-1:2018 – Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles." CEN, Brussels, p. 34, 2018.
- [10] Sítio da internet <https://datascope.io/en/>, dezembro de 2023
- [11] CT-197, "Regras de modelação de objetos BIM," Lisboa, 2021 (<https://secclass.pt/relatorios/regras-de-modelacao-de-objetos-bim/>).
- [12] ISO, "ISO 16739-1:2018 - Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema." Geneva, Switzerland, p. 1474, 2018.
- [13] CEN, "EN 17412-1:2020 – Building Information Modelling – Level of Information Need – Part 1: Concepts and principles." CEN, p. 28, 2020.
- [14] L. Fernandes, "An integrated model for simulation of construction phasing of arch concrete dams", Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, 2015.



# O uso do BIM em obras compostas por sistemas estruturais de betão pré-fabricado

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.13>

**Daniela Gutstein<sup>1</sup>, Larissa Queiroz Henz<sup>2</sup>,  
Luis André Tomazoni<sup>3</sup>, Paulo Costeira Silva<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba-Brasil*

<sup>2</sup> *Cassol Pré-fabricados, Curitiba-Brasil*

<sup>3</sup> *Cassol Pré-fabricados e ABCIC, São Paulo-Brasil*

<sup>4</sup> *Instituto Politécnico de Viseu, Viseu*

## Resumo

O emprego de sistemas estruturais de betão pré-fabricado tem sido cada vez maior nas obras brasileiras, onde a rapidez construtiva, qualidade e racionalização dos processos são premissas principais. A normalização brasileira traz especificações para análise, dimensionamento, produção e montagem dos elementos construtivos pré-fabricados, estabelecendo tolerâncias dimensionais e de desvios no posicionamento dos elementos em obra a serem criteriosamente controladas. Também define critérios para a avaliação da estabilidade global de estruturas pré-fabricadas relevantes para a etapa de concepção de cada projeto. A modelagem BIM tem-se mostrado uma importante metodologia para considerar esses requisitos normativos, bem como aprimorar e racionalizar a implantação de obras com sistemas construtivos pré-fabricados de betão. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma visão geral do emprego do BIM nas diferentes etapas de projeto e construção da estrutura pré-fabricada de acordo com as normas brasileiras em vigor. A metodologia apresentada envolve o uso dos softwares Revit e TQS-Preo e biblioteca de elementos parametrizados onde são apresentados dois casos de projeto como exemplo. Dentre as conclusões evidencia-se que a modelagem BIM tem-se mostrado uma importante metodologia para aprimorar e racionalizar a implantação de obras com sistemas construtivos pré-fabricados de betão, atendendo aos requisitos normativos de segurança e prazos reduzidos.

## 1. Introdução

O emprego de sistemas estruturais de betão pré-fabricado tem sido cada vez maior nas obras brasileiras, onde a rapidez construtiva, qualidade e racionalização dos processos são premissas principais. Neste contexto, a norma brasileira ABNT NBR9062:2017 [1] traz especificações para análise, dimensionamento, produção e montagem dos elementos construtivos pré-fabricados, estabelecendo tolerâncias dimensionais e de desvios no posicionamento dos elementos em obra a serem criteriosamente controladas.

A utilização de sistemas pré-fabricados traz inúmeros benefícios para os envolvidos com a construção da edificação em si e também para o meio ambiente pois proporcionam redução de custos, minimização de desperdícios através da racionalização dos processos, sendo soluções sustentáveis quando comparadas a demais soluções em betão armado e outros sistemas. Porém, o projeto de sistemas estruturais pré-fabricados precisa levar em consideração situações transitórias provenientes das diversas etapas que passam os elementos até a sua posição final na estrutura, o que leva a um detalhamento de projeto maior nas fases iniciais de projeto. De uma forma geral, segundo Doniak e Gutstein [2] as situações transitórias de projeto muitas vezes introduzem esforços que ocasionam situações de dimensionamento estrutural condicionantes, bem como, custos diferenciados de construção. Com relação aos aspectos construtivos, a racionalização dos processos e sucesso da montagem passa pela previsão de todas as interfaces multidisciplinares na obra durante as fases de projeto, o que torna o projeto mais complexo. Segundo Van Acker [3] nas estruturas em betão pré-fabricado emprega-se menos da metade do tempo necessário em relação à construção convencional de betão moldado no local. Isto se deve principalmente à padronização e à automatização dos processos, onde o cronograma da obra pode ser otimizado, permitindo a redução do tempo de retorno de investimento da construção, tornando-as viáveis economicamente. Segundo Doniak e Gutstein [2] a busca maior na última década por estruturas que também sejam adaptáveis (como para mudanças de utilização ou renovação arquitetónica), além de sustentáveis e economicamente viáveis para atender prazos reduzidos de construção, tem refletido no crescente avanço das aplicações do pré-fabricado.

Sendo assim, para atingir tais objetivos os estudos de projeto requerem atenção especial onde o emprego do BIM em seus diferentes níveis é justificável e vem sendo utilizado para otimizar os processos envolvidos, onde uma vez aprimorando os projetos, permite-se orçamentos detalhados e gestão construtiva aprimorada em todas as etapas da obra. O BIM também auxilia nas etapas iniciais de concepção arquitetónica e estrutural. Para isso, se pode utilizar a metodologia de análise estrutural estudada em Rezende e Gutstein [4] em que uma geometria de estrutura estável à estabilidade global para todas as combinações de ações seja encontrada. Adotam-se os coeficientes de estabilidade global segundo as recomendações de [1] de forma que o modelo da arquitetura possa ser ajustado de acordo com as necessidades do modelo estrutural. A automatização dos processos no ambiente colaborativo em BIM, através da modelagem da arquitetura e análise estrutural permite maior otimização

das soluções estruturais, devido à habilidade de troca de dados entre softwares que utilizam a modelagem BIM e em decorrência da possibilidade de se definir parâmetros geométricos a vários elementos estruturais que compõem o projeto. Como a estrutura pré-fabricada utiliza de elementos padronizados sempre que possível, o uso de modelagem em BIM permite a criação de biblioteca de elementos parametrizados conforme as tipologias previstas em catálogo de produtor e assim maior agilidade de estudos para seleção dos elementos (seções transversais ou geometria) mais adequados, em conformidade com as necessidades estruturais e arquitetônicas.

No Brasil as legislações federais e estaduais definem diretrizes para a licitação de obras públicas utilizando a metodologia BIM durante as fases de projeto, construção e operação. Neste contexto, a metodologia BIM passou a ser obrigatória em diferentes níveis a depender do escopo do projeto segundo esta legislação. A nível federal o decreto 11.888/2024 [5] define regulamentos para uma estratégia nacional de disseminação do BIM que possui como principal objetivo aprimorar o projeto e a execução, bem como minimizar os custos de implantação e manutenção das obras ao longo da vida útil. Isso tem feito com que as empresas e profissionais do setor estejam desenvolvendo suas metodologias internas utilizando ferramentas em BIM.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma visão geral do emprego do BIM nas diferentes etapas de projeto e construção da estrutura pré-fabricada, bem como, uma metodologia para a otimização do projeto na fase de concepção, de acordo com as normas brasileiras em vigor. Para isso são apresentados dois exemplos de aplicações da metodologia BIM no contexto de sistemas construtivos pré-fabricados. O primeiro corresponde a um estudo paramétrico de projeto estrutural em BIM onde se utilizou o Revit para modelagem arquitetônica e estrutural e o TQS-Preo para análise da estrutura. Para este estudo foi desenvolvida uma biblioteca de elementos parametrizados e estudo de interoperabilidade entre os softwares, paginação e análise estrutural, adotando uma metodologia de projeto estrutural segundo Rezende e Gutstein [4] envolvendo análise de estabilidade global para estudos de concepção estrutural e arquitetônico de um projeto. Este exemplo se baseia no trabalho de pesquisa de Perin [6]. O segundo exemplo corresponde à obra do Campus WPP, segundo Sugahara e Lacourarie [7] e Gutstein, Heinz e Tomazoni [8] que está em fase final de conclusão na cidade de São Paulo – Brasil e se dedica a apresentar um *case* de projeto e os usos de demais ferramentas para as fases de produção, montagem, planejamento e orçamento de uma obra de grande porte em estrutura pré-fabricada. Ambos exemplos demonstram a potencialidade do emprego do BIM para o aprimoramento de projetos como um todo.

## 2. Usos do BIM em estudos de concepção estrutural em betão pré-fabricado

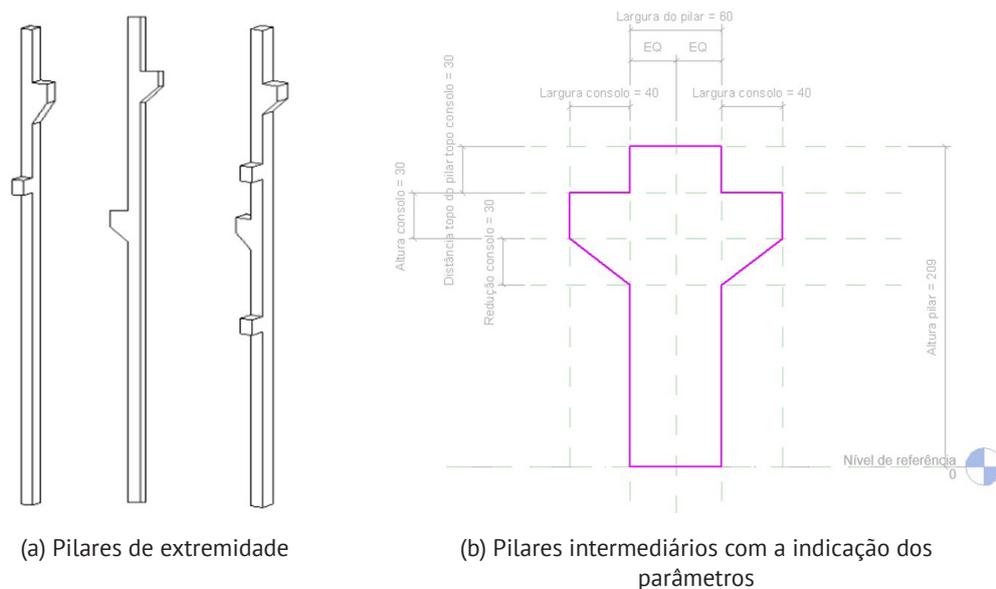
O primeiro caso corresponde ao estudo desenvolvido em Perin [6] onde foi feita análise paramétrica de um projeto de estrutura pré-fabricada. Dentre outras análises, neste trabalho foram estudadas 3 tipologias de estrutura, variando as seções

transversais de pilares com a finalidade de se atenderem os critérios de estabilidade global e aplicar a metodologia de projeto segundo Rezende e Gutstein [4]. O autor adotou um caso de projeto com modelagem em BIM e análise estrutural com o software TQS Preo, desenvolvido para o projeto de estruturas pré-fabricadas utilizando-se a normalização brasileira de referência, com opções de interoperabilidade com o Revit para trabalho num ambiente em BIM. Para o projeto de referência foi feita modelagem paramétrica com elementos estruturais pré-fabricados e situações de carregamento em sua fase final de utilização, ou seja, para a estrutura já montada e finalizada. O objetivo foi desenvolver um fluxo de trabalho que permita otimizar o projeto estrutural a partir da composição de uma biblioteca de elementos estruturais, utilizando-se de elementos paramétricos modelados como famílias de elementos que possam ser selecionados no modelo BIM e analisados no programa de análise estrutural. Como principal critério de otimização estrutural foi adotado a análise de estabilidade global de estruturas pré-fabricadas conforme a ABNT NBR9062, a partir do cálculo dos coeficientes de avaliação da segurança à estabilidade global, denominado por gama  $z$  ( $\gamma_z$ ).

## 2.1. Famílias e parametrização de elementos pré-fabricados

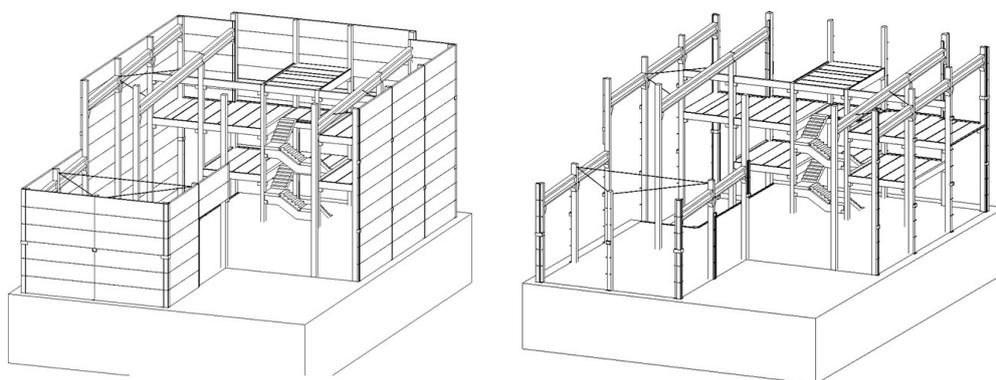
A criação de elementos paramétricos compondo uma biblioteca é importante na modelagem de uma edificação em BIM pois auxilia tanto arquitetos quanto engenheiros que trabalham no mesmo projeto. O projeto arquitetônico pode ser feito prevendo variações de parâmetros em famílias de elementos, minimizando retrabalhos por conta da adaptação arquitetônica da edificação em decorrência de mudanças realizadas no projeto estrutural e vice-versa [6].

Segundo Autodesk [9] uma família é um grupo de elementos com um conjunto de propriedades chamadas parâmetros e uma representação gráfica relacionada. A vantagem da criação de famílias corresponde a criar uma biblioteca que pode ser utilizada em diferentes projetos, composta de elementos padronizados que têm uma tipologia específica, mas que podem conter variações em determinadas dimensões de sua geometria ou em suas propriedades, denominadas de parâmetros. Os tipos de famílias podem ser utilizados para modelar elementos com variações geométricas ou em situações de idades diferentes das peças, por meio de especificações das propriedades dos materiais, por exemplo, nas situações transitórias típicas do processo de pré-fabricação (etapas de moldagem, desforma, transporte, armazenamento e montagem). O Autodesk Revit possui a função de criação e edição de famílias que permite realizar análises considerando variações dos parâmetros. A Figura 1(a) apresenta exemplos de pilares de extremidade parametrizados para cada configuração específica de consolas presentes no projeto de estudo adotado em Perin [6]. A Figura 1(b) mostra um exemplo de uma família parametrizada de pilares intermediários com consolas simétricas (que servem de apoio para vigas em ambos os lados) e indicação dos respectivos parâmetros editáveis para a modelagem em estudo desenvolvida em Perin [6].



**Figura 1**  
Consolas de pilares parametrizados adotados num projeto em estrutura pré-fabricada (Extraído de Perin [6]).

A Figura 2 mostra o projeto de estudo adotado por este autor onde os pilares foram utilizados. Uma vez criada uma família num determinado projeto, a mesma pode ser adotada posteriormente no modelo BIM de qualquer outro projeto.



**Figura 2**  
Projeto de estudo onde foram parametrizadas as famílias de pilares em Perin [6] (projeto cedido).

## 2.2. Análise de estabilidade global: concepção estrutural e dimensionamento de pilares

Dentre as facilidades da programação em BIM se destaca a possibilidade de realizar alterações de projeto de arquitetura e a partir da interoperabilidade entre as diferentes ferramentas em BIM adotadas, realizar a análise estrutural no programa específico de estrutura para diferentes opções de elementos e respectivos parâmetros. Essas variações podem ser feitas para atingir melhores requisitos de segurança (como atender aos critérios de estabilidade global) e ou de economia (otimizar as secções dos pilares para atender aos requisitos sem muita folga, por exemplo). Como exemplo, no projeto em estudo adotado em Perin [6] (Figura 2) foi realizada uma análise paramétrica, onde alguns pilares sofreram alterações na sua secção transversal para analisar as variações nos coeficientes de estabilidade global,  $\gamma_2$ , segundo

a ABNT NBR9062 [1]. A Tabela 1 mostra as variações das secções adotadas em cada análise, onde a arquitetura foi modelada no Revit (projeto cedido por empresa) e a estrutura foi analisada utilizando o TQS-Preo que prevê a interoperabilidade entre os programas para transferência dos dados dos modelos. Demais dados e análises realizadas no trabalho podem ser encontrados em Perin [6].

Tabela 1: Coeficientes de estabilidade global  $\gamma_z$  obtidos por Perin [6] para diferentes situações de carregamentos, variando-se a seção transversal dos pilares (análises 1 a 3).

	Combinação Vento 90°	Combinação Vento 180°	Combinação Vento 270°	Combinação Vento 360°
Análise 1	1,03	1,04	1,03	1,04
Análise 2	1,04	1,04	1,04	1,04
Análise 3	1,08	1,06	1,08	1,06

### 3. Usos do BIM no projeto do Campus WPP

O projeto da superestrutura do Campus WPP foi idealizado pela arquitetura com elementos compondo a estrutura se integrando perfeitamente à arquitetura (Figura 3). Foram utilizados na concepção elementos lineares pré-fabricados (vigas e pilares), elementos bidimensionais pré-fabricados na fachada (painéis arquitetônicos em concreto armado) e no sistema de pisos dos pavimentos compostos por lajes alveolares pré-fabricadas protendidas com vãos de até 11m e capa estrutural executada na obra.

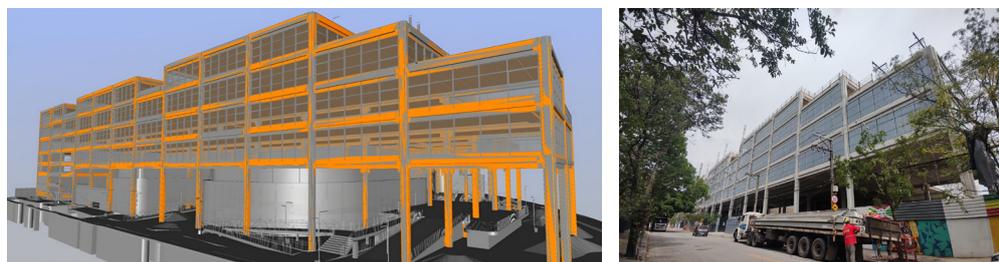


**Figura 3**  
Edifício Campus WPP –  
Perspectiva de projeto  
da obra acabada em  
sistema pré-fabricado  
(Fonte: www.wpp.com  
[7]).

#### 3.1. Concepção da estrutura: compatibilização e estudo de fôrmas

A modelagem em BIM da arquitetura e estrutura do Campus WPP foi realizada em Revit desde a fase de orçamentação do projeto. A concepção da obra em BIM facilitou a tomada de decisões para a concepção da estrutura e definição dos elementos

estruturais, a partir da melhor compreensão e análise visual da interface entre a arquitetura e a estrutura (Figura 4).



a) Modelo em BIM – sobreposição das disciplinas de arquitetura (em cinza) e estrutura (em laranja)

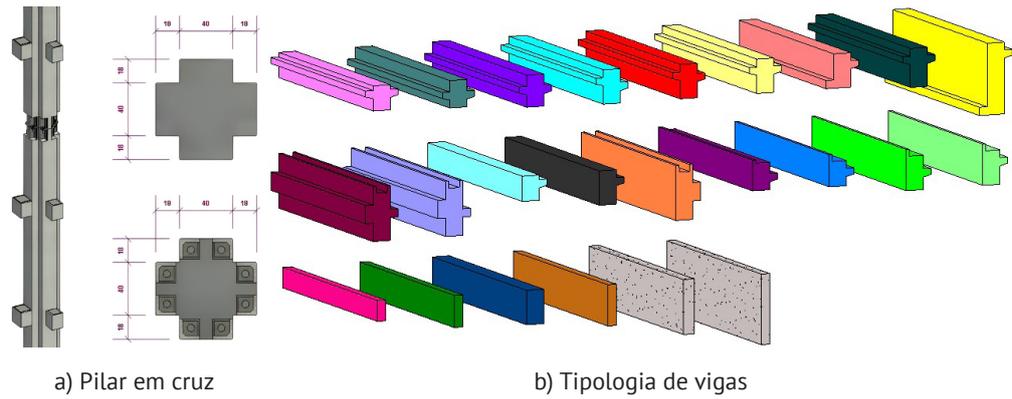
b) Visualização na obra (interface com as esquadrias)

**Figura 4**  
Modelo em BIM e visualização em obra.

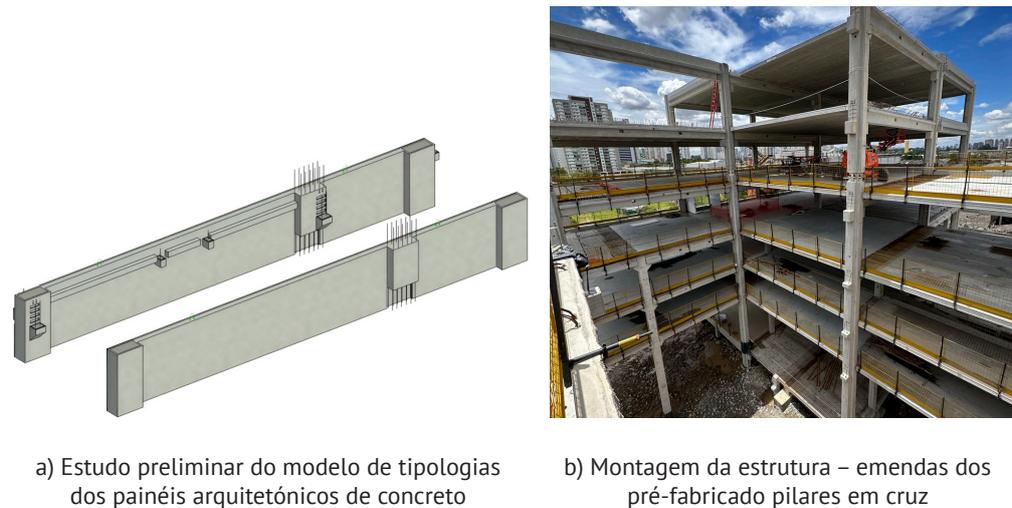
Esses modelos proporcionaram a visualização e estudo de interfaces de elementos que apresentaram soluções inovadoras no projeto de pilares e de vigas (Figura 5). O projeto de arquitetura adotou pilares com seção transversal em cruz de forma predominante no empreendimento, com a finalidade estética da fachada e de diminuição do vão real das vigas. A produção respondeu a desafios relacionados à maior complexidade da fôrma e ao detalhamento das emendas que foram necessárias nos pilares, uma vez que ultrapassaram 21 metros de altura devido às limitações de transporte e logística da obra. Com isso, foram necessários oito conjuntos de emendas por pilar, sendo um conjunto em cada vértice da seção. Com relação às vigas, o estudo da estrutura apresentou um número significativo de seções especiais, para solucionar aspectos de projeto, tais como, continuidades na estrutura, desníveis nos pavimentos, variação de espessuras das lajes e detalhes arquitetônicos de fachada. A fachada foi projetada com a composição de painéis de vedação e de painéis estruturais que demandaram soluções diferenciadas de produção e de montagem devido à sua geometria e seus acabamentos. Gutstein, Heinz e Tomazoni [8] descrevem os estudos de produção desenvolvidos em fábrica para atender as exigências de desempenho estrutural e de acabamento superficial dos painéis de fachada definidos pela arquitetura. Os estudos de concepção da estrutura da fachada tiveram como premissa subdividir as prumadas de painéis em peças pré-fabricadas respeitando-se as dimensões máximas e outros critérios, que levaram em conta aspectos que viabilizassem a produção, içamento, transporte, montagem e solidarização em obra. Após estudos da arquitetura, da estrutura e de planejamento da obra por meio de plano de *rigging*, os painéis de fachada resultaram em grandes dimensões ( $2,70 \times 16,40 \text{m}^2$ ) e peso de aproximadamente 28t. A Figura 6 apresenta um detalhe do modelo em BIM dos painéis de fachada e da obra na fase de montagem.

**Figura 5**

Exemplo de projeto de pilar e amostragem visual de vigas.

**Figura 6**

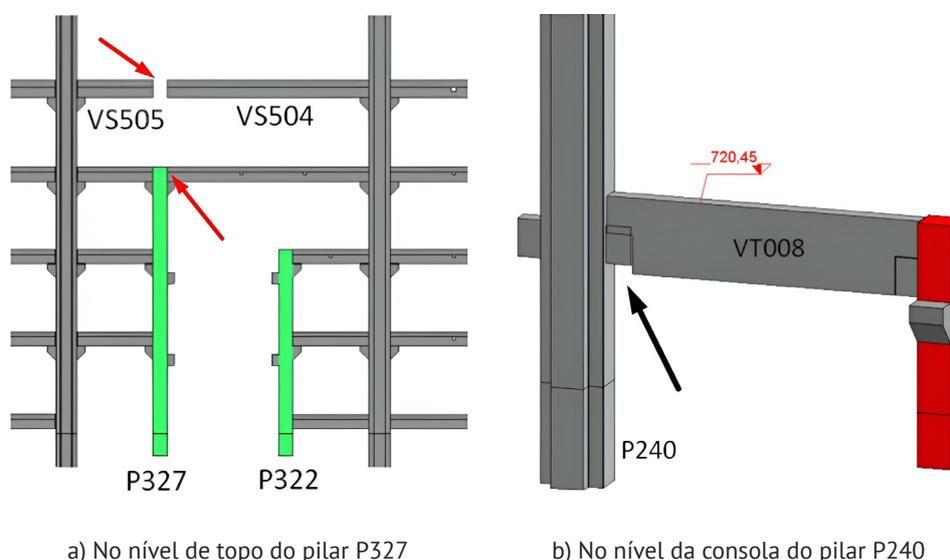
Painéis em peças pré-fabricadas e emendas de pilares em campo.



O modelo em BIM da estrutura foi idealizado com o emprego de objetos paramétricos e possibilitou a extração das informações dimensionais de todas as peças do projeto. Esses dados foram base para estudo de padronização e recorrência das seções, resultando na definição das formas metálicas a serem produzidas para a obra.

O detalhamento de projeto para a produção foi desenvolvido a partir da construção virtual de todos os componentes pré-fabricados do projeto, onde cada elemento foi detalhado, considerando a sua geometria, especificação de materiais e demais detalhes de encaixes, como esperas e neoprene. Isso proporcionou uma análise crítica de produção, onde cada peça foi disposta em uma região do modelo BIM que simulava o pátio de fábrica. Em seguida, foi modelada a locação das peças em sua posição final no empreendimento, de acordo com o projeto de montagem. O objetivo foi identificar qualquer falta de informação nas pranchas de detalhamento ou incompatibilidade na obra que poderiam causar retrabalhos, custos adicionais e atrasos na montagem ou na produção. A análise virtual de conflito físico entre as peças, denominada de *Clash*, foi muito importante porque permitiu identificar falhas na produção ou de detalhamento de projeto devido a presença de elementos sobrepostos ou falta de componentes no modelo que impossibilitariam ou dificultariam a execução. Foram estudadas também interferências de posicionamento, alinhamento e níveis de

consolas, vigas e lajes (Figura 7). Para esta finalidade, também foi utilizada como apoio a ferramenta *Clash Detection* no software *Navisworks*.



**Figura 7**  
Detecção de conflitos físicos entre peças.

### 3.2. Montagem e plano de ataque

Como premissa para o estudo de montagem e plano de ataque da estrutura foi considerado o tempo total de 148 dias úteis. As equipes de montagem necessárias para cumprimento do prazo foram definidas levando-se em conta as quantidades e características das peças do modelo BIM, bem como seus índices de fabricação e montagem. Também foram estabelecidas as quantidades de produção de fábrica para atendimento às equipes. Com o estudo dos acessos à obra, a partir do software *Infraworks* foi possível também estudar a melhor solução para a subdivisão da estrutura em quadrantes de montagem e suas respectivas equipes, bem como definir o sentido de montagem mais adequado. Como solução final se chegou à subdivisão em 18 quadrantes associados às equipes e respectivo sentido de montagem, conforme exemplificado na Figura 8.

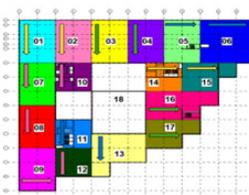
Para a produção dos elementos em fábrica, foi analisada a distribuição de peças por tipologia, por volumes e por equipe, visando manter as necessidades em obra compatíveis com a fabricação. Foram desenvolvidas animações em BIM 4D no software *Navisworks* e *Fuzor* (Figura 9) para facilitar o entendimento de todos os envolvidos na construção do empreendimento. A fim de garantir a exequibilidade da operação e minimizar os impactos no entorno da obra foram realizados estudos de logística estudando a chegada de equipamentos e caminhões ao canteiro de montagem. A partir da validação da estratégia de execução, iniciou-se o detalhamento do plano de ataque peça a peça. Os quadrantes de montagem iniciais foram subdivididos em regiões menores, resultando em 73 quadrantes, com o objetivo de aumentar o número de marcos de controle de projeto. As equipes de montagem foram responsáveis por um

conjunto de quadrantes, cada um com prazos de projeto, fabricação e montagem (Figura 10).

**Figura 8**  
Plano para a montagem da estrutura.

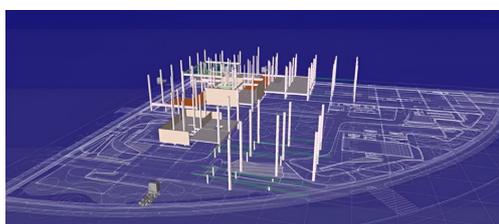


a) Posicionamento do modelo BIM



b) Distribuição preliminar de quadrantes e sentido no terreno de montagem

**Figura 9**  
Simulação BIM 4D em diferentes softwares.

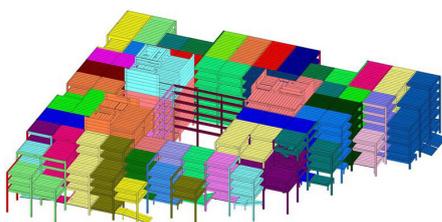


a) Navisworks

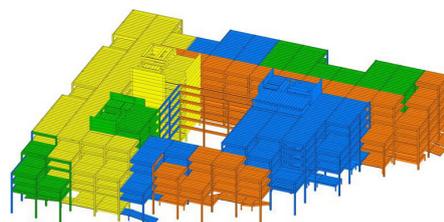


b) Fuzor

**Figura 10**  
Distribuição final da estrutura.



a) Quadrantes



b) Equipes de montagem

Os quantitativos para desenvolvimento do planejamento peça-a-peça foram extraídos com automações em *Dynamo*, envolvendo parâmetros como pavimento, tipologia de forma e nomenclatura de peças. Foi necessário compreender e adaptar as informações importantes para cada fase executiva, para que a base de dados gerada fosse útil e confiável. Sendo assim, o único parâmetro incluído manualmente no modelo (que não era nativo do processo de projeto) correspondeu ao respectivo quadrante de montagem. Para simulações 4D eram feitas associações automáticas com base no parâmetro de identificação das peças no modelo BIM. Com a setorização peça a peça, a análise crítica e adaptabilidade do cronograma se tornou mais simples, onde se passou a considerar a complexidade do número de quadrantes e não do número de peças. O acompanhamento do avanço físico do empreendimento foi feito com auxílio do modelo BIM por meio da plataforma *Nimble* para navegação e atualização em tempo real dos status das peças por meio de dispositivos móveis no campo. A partir desse controle, *dashboards* de análise de produtividade e conformidade de prazos também foram feitos em *PowerBI*.

## 4. Conclusão

A modelagem BIM tem-se mostrado uma importante metodologia para considerar esses requisitos normativos, bem como aprimorar e racionalizar a implantação de obras com sistemas construtivos pré-fabricados de betão. Em ambas situações apresentadas como exemplo observaram-se aspectos importantes das metodologias e ferramentas em BIM utilizadas, com a finalidade de se obter estruturas seguras e económicas dentro dos prazos pré-estabelecidos com o cliente.

## Agradecimentos

À TQS pela cedência do programa TQS PREO para realização das análises; bem como à Rocontec Construção e Tecnologia, Brookfield Properties, CMA Engenharia e Cassol Pré-fabricados, pelas informações fornecidas.

## Referências

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. “ABNT NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado”. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- [2] Doniak, I.L.O.; Gutstein, D. “Concreto Pré-fabricado”, in *Concreto: Ciência e Tecnologia*, Tutikian B., Pacheco F., Isaia G. e Batagin I. (editor), 3.<sup>a</sup> ed. São Paulo: Editora Ibracon, 2022.
- [3] Van Acker, A. Manual de sistemas Pré-fabricados de Concreto. Tradução: Marcelo de Araujo Ferreira, Disponível em: <http://www.netpre.ufscar.br/wp-content/uploads/2016/12/Manual-de-Pr%C3%A9-Fabricados-de-Concreto.pdf>. Acesso em 28 dez, 2023.
- [4] Rezende, A. H., Gutstein, D. “Análise de Sensibilidade de Parâmetros na Estabilidade Global de Estruturas de Concreto Pré-moldadas segundo ABNT NBR9062:2017”, in *Congresso Brasileiro de Concreto*, 62.<sup>o</sup>, Anais-Parte II, Florianópolis, 2021.
- [5] Decreto 11.888/2024 – “Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil”. Legislação brasileira publicada em 22 de Janeiro de 2024. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2023-2026/2024/Decreto/D11888.htm#art14](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Decreto/D11888.htm#art14). Acesso em 28 fev, 2024.
- [6] Perin, A.G.S. “Dimensionamento estrutural e compatibilização em BIM de uma edificação através dos softwares Autodesk Revit e TQS PREO”, Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022, Curitiba.

- [7] Sugahara, J., Lacourarie, L. WPP. Anuncia seu primeiro Campus no Brasil. Disponível em: <https://www.wpp.com/en/news/2022/11/wpp-announces-its-first-campus-in-brazil-portuguese>. Acesso em 29 fev, 2024.
- [8] Gutstein, D.; Heinz, L.Q. e Tomazoni, L.A. “Primeiro campus no Brasil da WPP: edificação sustentável na esfera da transformação criativa”. *Revista Concreto & Construções*, São Paulo, n.112, p.57-63, 2023.
- [9] Autodesk. “Vantagens da BIM”. Disponível em <https://www.autodesk.com.br/solutions/bim/benefits-of-bim>. Acesso em 28 dez, 2023.

# Expandindo usos BIM para caracterização do estado de fadiga em pontes metálicas ferroviárias

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.14>

**Idilson Nhamage<sup>1</sup>, Cláudio Horas<sup>2</sup>,  
Ngoc-Son Dang<sup>3</sup>, José Campos e Matos<sup>4</sup>,  
João Poças Martins<sup>5</sup>, Rui Calçada<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> CONSTRUCT – FEUP, Porto, Portugal, ORCID: 0000-0001-9854-7677

<sup>2</sup> CONSTRUCT – FEUP, Porto, Portugal, ORCID: 0000-0002-9868-3270

<sup>3</sup> ISISE-EEUM, Guimarães, Portugal, ORCID: 0000-0002-3341-3034

<sup>4</sup> ISISE-EEUM, Guimarães, Portugal, ORCID: 0000-0002-1536-2149

<sup>5</sup> CONSTRUCT – FEUP, BUILT CoLAB, Porto, Portugal, ORCID: 0000-0001-9878-3792

<sup>6</sup> CONSTRUCT-FEUP, Porto, Portugal, ORCID: 0000-0002-2375-7685

## Resumo

Nos últimos anos, a necessidade de envolver a tecnologia digital nos processos de Gestão e Manutenção de Infraestruturas de Transporte (GMIT) tem sido crescente, tendo em conta que hoje em dia, o desenvolvimento de qualquer sector está intrinsecamente ligado ao atual ambiente tecnológico digital. Como forma de responder a esta necessidade, há uma tendência para expandir o âmbito de aplicação do *Building Information Modelling* (BIM), tradicionalmente usado para projetos de edifícios, redirecionando os respetivos Usos BIM para áreas como Gestão e Manutenção de Pontes. Uma das subcategorias que fazem parte do leque dos Usos BIM é a monitorização do ativo na sua fase operacional. Este trabalho usa essa base para desenvolver um modelo experimental que combina um Sistema de Análise de Fadiga (SAF) e um modelo BIM da ponte. Essas duas partes são ligadas a uma base de dados que possibilita a atualização contínua do modelo global, formando um Gémeo Digital (GD), capaz de caracterizar em qualquer instante a evolução de dano de fadiga em qualquer detalhe de ligação da ponte. O SAF é baseado num modelo de elementos finitos que é associado ao Método de Danos Lineares Acumulados (MDLA) para a determinação do dano por fadiga, ambos implementados em *softwares* comerciais, enquanto o modelo BIM é desenvolvido a partir de *softwares* e programas de código aberto, que permitem maior flexibilização quanto à manipulação de objetos BIM, quase necessário

para infraestruturas como pontes, incluindo a utilização do padrão IFC mais evoluído (IFC4x3). A partir da base de dados, que contém parâmetros como condições de carga (tráfego ferroviário) e de geometria da ponte, o modelo global é continuamente atualizado para reavaliação da evolução do dano por fadiga, e mostra-se promissor para a gestão do ciclo de vida da ponte.

## 1. Introdução

Atualmente, são notáveis os esforços no seio da buildingSMART na ampliação do BIM para infraestruturas lineares como pontes, vias-férreas e estradas. Isso envolve o alargamento de repositórios de dados partilhados, padronizados e orientados a objetos que inclua esse tipo de infraestruturas. No entanto, o uso do BIM em fase de operação, manutenção e gestão desses ativos ainda apresenta desafios enormes. Isso ocorre principalmente devido à falta de flexibilidade no modelo atual em lidar com informações sobre anomalias e comportamento estrutural ao longo do tempo [1]. Os sistemas e processos atuais que caracterizam os modelos BIM ainda carecem, por exemplo, de elementos geométricos interoperáveis relacionados com diferentes defeitos em infraestruturas, fundamentais nos processos de gestão e operação. Uma das anomalias predominantes em pontes metálicas ferroviárias é a fadiga, relacionada com a passagem de comboios. Este fenómeno consiste num processo de iniciação e de propagação de fendas num elemento estrutural causado por flutuações de tensão [2]. A avaliação e acompanhamento desse processo complexo, pode incluir informação sobre inspeção prévia ou resultados de análises preliminares sobre o estado de um elemento estrutural, resultados de análises que caracterizem o estado da fadiga do elemento estrutural ao longo do tempo, entre outras informações. É sabido que a identificação de dano em infraestruturas como pontes, incluindo danos por fadiga, constitui uma forma essencial de avaliar o estado da condição dessas infraestruturas. Todavia, a informação sobre esses dados dificilmente pode ser expressa (visualizada por exemplo) na infraestrutura em causa através dos métodos correntes de análise para identificação de danos [3]. Havendo necessidade em solucionar esta e outras questões, o BIM tem vindo a ser adotado em novos domínios. Atualmente, são visíveis os avanços e o seu crescente uso em outras infraestruturas incluindo pontes e vias férreas [4]. Essa aplicação vai além da simples modelação, estendendo-se à gestão dessas infraestruturas, atento às grandes potencialidades desta tecnologia [4, 5]. Essas potencialidades são fundamentalmente evidenciadas pela representação digital (ou visualização) e possibilidades de integrar informação [6, 7], vistos como benéficos para qualquer gestão de infraestruturas. Contudo, o processo de integração da informação ainda levanta grandes debates, do ponto de vista do tipo e alcance da informação a integrar. Por isso, conhecendo a existência dessas potencialidades, um desafio atual significativo é definir processos que permitam enriquecer os modelos BIM com informação sobre o estado de um determinado ativo, de forma automática e contínua, obtendo-se neste caso um Gémeo Digital (GD). Esta é uma questão colocada por diversos pesquisadores (ver por exemplo [8]), sendo notáveis as tentativas de ligar modelos BIM com outras partes que o alimentam com informação, mas não há ainda uma forma ou procedimento concretos para o estabelecimento desta ligação [8]. Dentro desses desafios, este estudo apresenta uma forma de aplicar o BIM para dar suporte ao processo de avaliação da evolução de dano por fadiga em pontes metálicas ferroviárias, onde são destacados os processos de modelação conduzidos por dados e baseados em recursos abertos, integração automática da informação proveniente de análises numéricas e do ativo físico no modelo BIM, formando um GD. No âmbito do openBIM, são explorados recursos de código aberto (IfcOpenShell +

Python + Blender) para modelação em BIM e com padrão IFC recente (IFC4x3\_ADD1) em processo de padronização na ISO [9], que inclui já algumas entidades relacionadas com pontes e vias férreas (figura 1a), como forma de ultrapassar as atuais limitações que ainda caracterizam a maioria das plataformas comerciais BIM, que ainda não implementaram esta última versão do padrão IFC (figura 1b). O IfcOpenShell é uma biblioteca constantemente atualizada e que permite aceder e editar ficheiros em formato IFC de código aberto [10]. As análises numéricas de fadiga, cujos resultados alimentam continuamente o modelo BIM, são realizadas em softwares potentes de análise numérica e programação, nomeadamente o ANSYS APDL® e o MATLAB®.

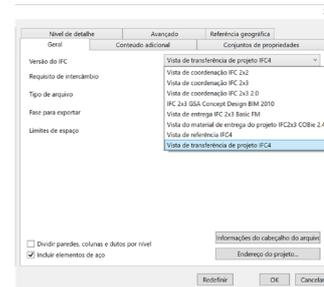
**Figura 1**

(a) IfcRail a partir de IFC4x3 modelada parametricamente com recursos de código aberto (Ifcopenshell + Python + Blender);  
 (b) Extrato de uma plataforma BIM, numa das versões recentes limitada a IFC 4.0.

*IfcRail: parte do código EXPRESS*

```

ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(('ViewDefinition [CoordinationView]', '2;1;'));
FILE_NAME('Rail.ifc', '2023-12-08T16:32:13+00:00', (), (), 'IfcOpenShell v0.7.0-6c9e138ca');
FILE_SCHEMA('IFC4X3_ADD1');
ENDSEC;
DATA;
#1=IFCPROJECT('00s09c3j3i0d0ghu1zmbg', $, 'My Project', $, $, $, (#10), #5);
#2=IFCSUNIT(*, LENGTHUNIT, ., MILLI, ., METRE.);
#3=IFCSUNIT(*, AREAUNIT, $, SQUARE_METRE.);
#4=IFCSUNIT(*, VOLUMEUNIT, $, CUBIC_METRE.);
#5=IFCUNITASSIGNMENT((#4, #2, #3));
#6=IFCARTESIANPOINT((0., 0., 0.));
#7=IFCDIRECTION((0., 0., 1.));
#8=IFCDIRECTION((1., 0., 0.));
#9=IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6, #7, #8);
#10=IFCGEOMETRICREPRESENTATIONCONTEXT($, 'Model', 3, 1, E-05, #9, $);
#11=IFCGEOMETRICREPRESENTATIONSUBCONTEXT('Body', 'Model', *, *, *, #10, $, MODEL_VIEW, $);
#12=IFCSITE('15_sx8s6z2kuz2m8p10s6t', $, 'My Site', $, $, $, $, $, $, $, $);
#13=IFCBUILDING('08m3c1g9p9p73asi5d7ah', $, 'Building A', $, $, $, $, $, $, $, $);
#14=IFCBUILDINGSTOREY('1bf3n4_4p9m9rdz180mkg', $, 'Ground Floor', $, $, $, $, $, $);
#15=IFCRELAGGREGATES('3hms5z112epvjg9d9zn8', $, $, $, #1, (#12));
#16=IFCRELAGGREGATES('1x83akcfs58vjy715ma', $, $, $, #12, (#13));
#17=IFCRELAGGREGATES('w0v0x8cvcqy1b0x2f8a', $, $, $, #13, (#14));
#18=IFCRAIL('3d4t9v112g0s9m70u5', $, 'Rail line', $, $, #15, #14, $, $);
    
```



(a)

(b)

## 2. Abordagem metodológica

### 2.1. Sistema de Análise de Fadiga (SAF) e modelo BIM da ponte

Atendendo ao principal objetivo deste estudo, cuja intenção é alimentar continuamente um modelo BIM com resultados provenientes de análises numéricas da fadiga (e informação relevante que pode não ser proveniente do cálculo), um Sistema de Análise de Fadiga (SAF) e um modelo BIM para ponte são previamente criados de forma separada para sua posterior integração, em que:

- a) SAF – este consiste de duas partes. Na primeira parte desenvolve-se um modelo numérico da ponte para determinação das suas propriedades dinâmicas ou estáticas com recurso ao software ANSYS APDL® e na segunda é calculado o dano por fadiga através do Método de Danos Lineares Acumulados (MDLA) [2] usando as programações no MATLAB® (figura 2). Os resultados de saída desta fase são, além do dano, a respetiva identificação e localização ao longo da ponte, bem como a vida de fadiga remanescente;

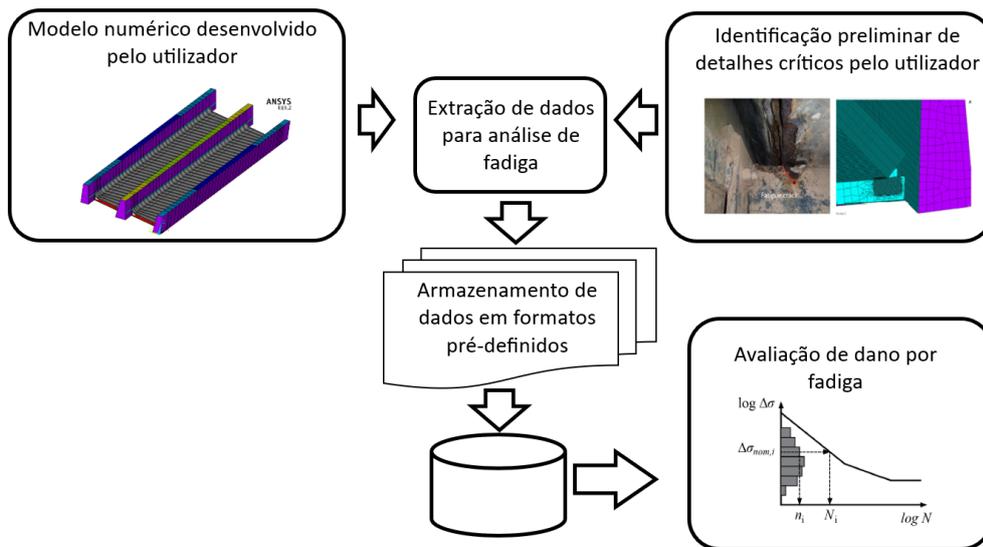


Figura 2  
Visão geral do Sistema de Análise da Fadiga (SAF).

b) Geração do modelo BIM da ponte – Através de recursos de código aberto (IfcOpenShell + Python + Blender) e com padrão IFC4x3, a geração do modelo BIM da ponte incluindo os elementos da via-férrea é feita utilizando um processo baseado em dados, para produção paramétrica de diferentes elementos (IfcBuildingElement) e posterior combinação para formação do modelo inteiro (figura 3).

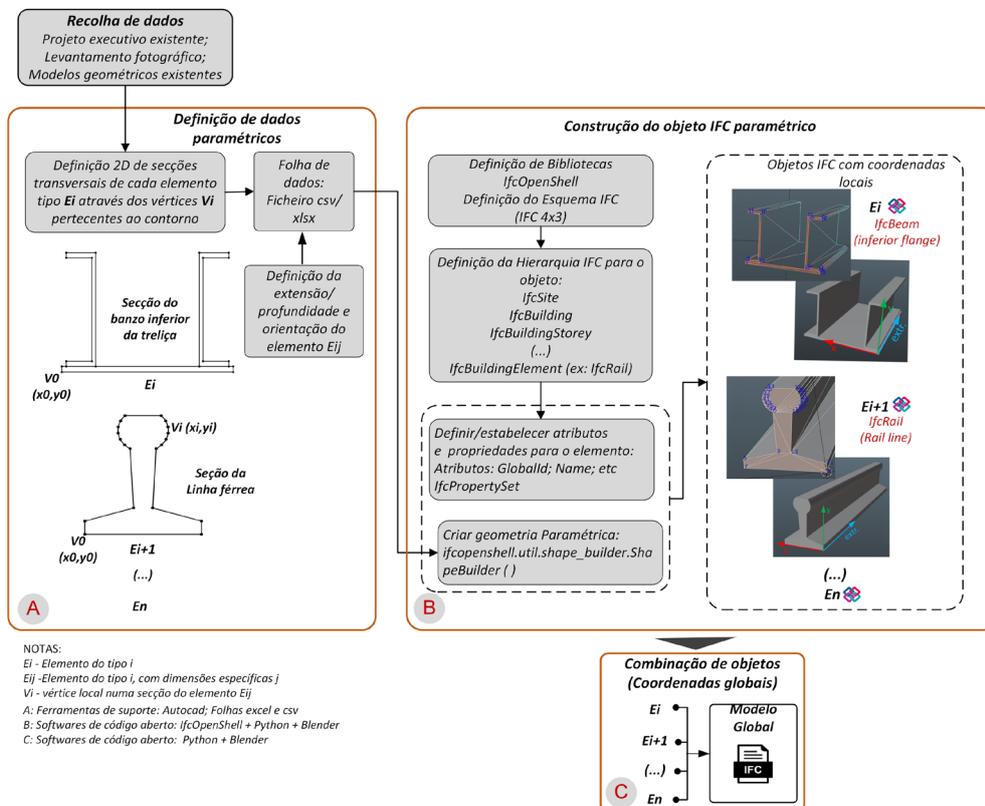


Figura 3  
Geração do modelo BIM para ponte e via férrea.

Ainda com os mesmos recursos de código aberto, propõe-se modelar as representações geométricas do dano, bem como a criação de uma plataforma de consulta de informação não geométrica sobre o dano (figura 4). Tanto as representações geométricas de dano como a plataforma de consulta de informação ficam vazios até que a informação sobre o dano (ou outra informação) seja introduzida por meio do processo de integração (ver subsecção 2.2).

**Figura 4**  
Plataforma de consulta de informação não geométrica sobre o dano num determinado detalhe de ligação.

The screenshot shows a software interface with a navigation pane on the left and a main content area. The navigation pane shows a tree structure: 'PSet\_prop\_DetailConnect02' expanded to 'Connect-Site', which is expanded to 'Connect-Building', which is expanded to 'Connect-Storey' and 'Civil Element'. The main content area shows a table for the 'Civil Element' with columns for Summary, Location, Material, PartOf, Clashes, and BIM\_Connect-Detail. The table has a header row for 'Property' and 'Value'.

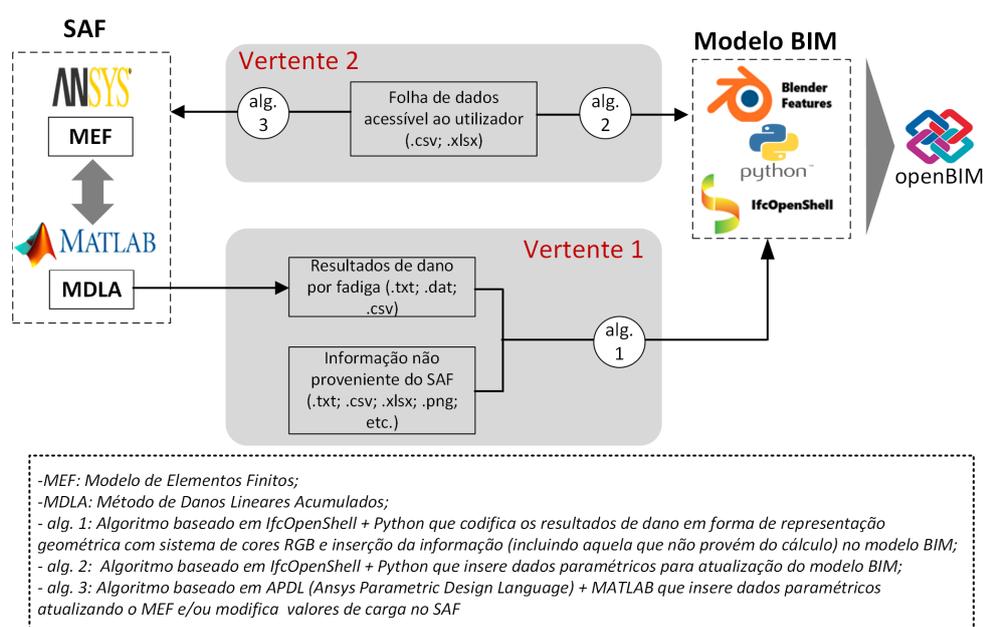
Property	Value
DamageValue	0
Detail-Location-X	0
Detail-Location-Y	0
Detail-Location-Z	0
Detail-Tag	DV-1
Remaining F.Life(yrs)	0

## 2.2. Processo de integração SAF – modelo BIM para a ponte

Neste estudo, propõe-se criar um SAF separado do modelo BIM, tendo em conta a complexidade de cada uma das partes. No estado inicial as duas partes funcionam de forma independente, passando a haver dependência quando é estabelecida a ligação. Conforme mostrado na figura 5, a ligação tem duas vertentes, sendo:

- Vertente 1 – é um processo direto em que a informação dos resultados provenientes da análise de fadiga (valor de dano, sua identificação, localização e vida de fadiga remanescente) ou outra informação disponível é diretamente introduzida no modelo BIM de forma automática, atualizando o modelo em termos geometria e representação do dano. A representação geométrica do dano é realizada através de sistema de cores RGB (*Red-Green-Blue*), cuja coloração vai alterando em função da magnitude do dano, ao passo que a representação não geométrica é realizada através de valores numéricos alocados nos parâmetros de interesse e que caracterizam o dano. Plataformas comerciais como REVIT® e RHINO® possuem ferramentas específicas, designadas por Interface de Programação de Aplicações (APIs), que permitem a ligação com dados de ambiente externo. Neste estudo, o modelo BIM é gerado por meio de *softwares* e programação de código aberto, sendo a inserção da informação realizada através da programação em Python;

b) Vertente 2 – É um processo inverso (simulação), em que se pode atualizar simultaneamente o modelo BIM e o SAF, gerando-se novos resultados e voltar para vertente 1, mantendo assim um processo contínuo. A atualização do modelo BIM é realizado por meio do mesmo processo descrito em (a), ao passo que a atualização do SAF é realizada através do conjunto APDL (Ansys Parametric Design Language) + MATLAB que acedem ao respetivo modelo numérico de elementos finitos e os algoritmos de cálculo de dano de fadiga, atualizando o modelo geométrico de elementos finitos e as cargas do tráfego.



**Figura 5**  
Esquema do processo de integração SAF – Modelo BIM para a ponte.

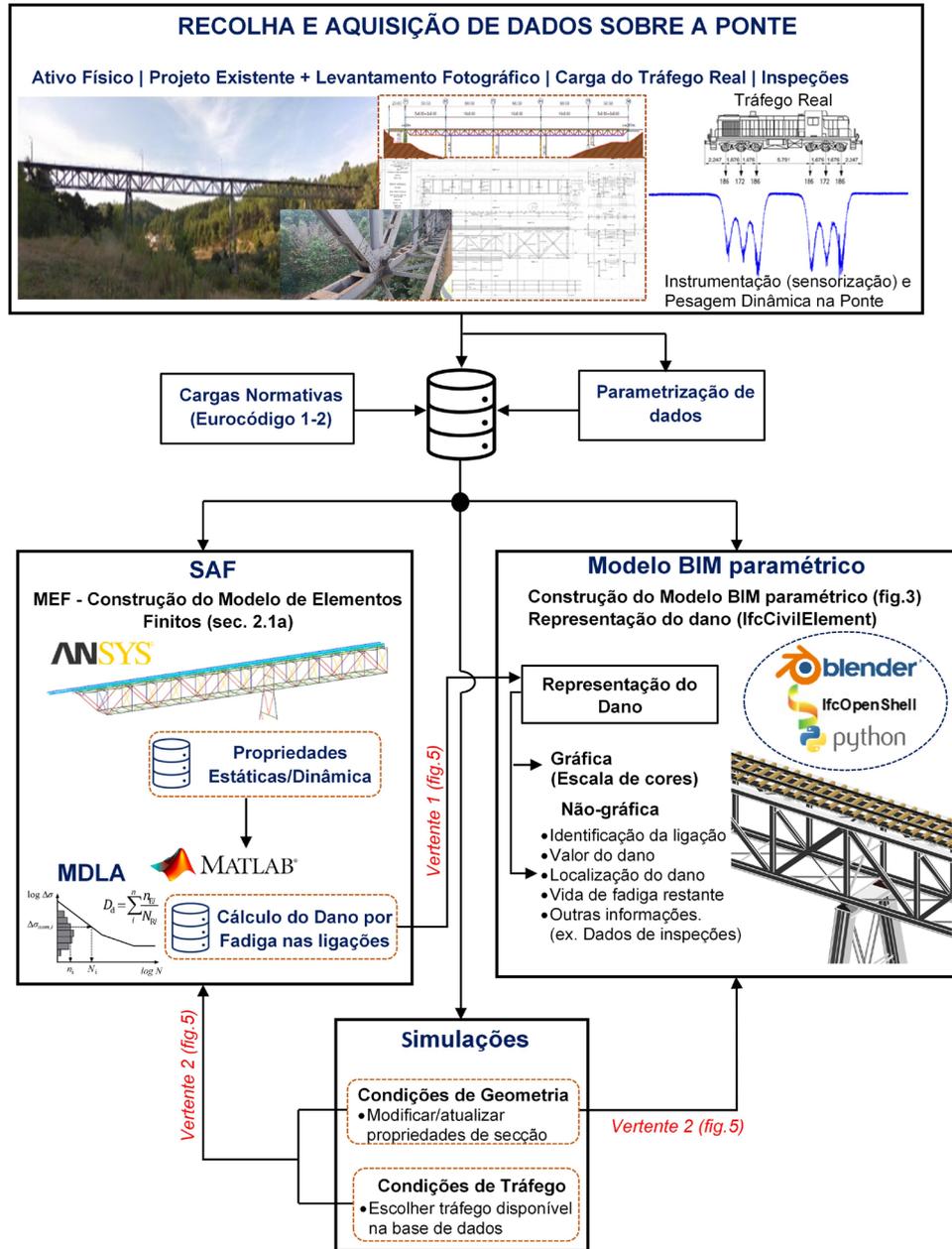
### 3. Caso de estudo

#### 3.1. Descrição e framework

A metodologia descrita na secção anterior é aplicada a um caso real. Trata-se de um trabalho em curso referente à Ponte de Várzeas, localizada no distrito de Aveiro, Portugal. A ponte é metálica treliçada, composta por 5 vãos e um total de 281m de comprimento. A descrição detalhada pode ser encontrada em [11]. O objetivo é usar o modelo BIM para auxiliar o processo de avaliação da evolução de dano por fadiga nas ligações principais da estrutura da ponte, considerando diferentes cenários que envolvem a carga do tráfego e as propriedades geométricas dos elementos estruturais. Com a possibilidade de automatização do processo de avaliação de fadiga e realce da visualização do que pode acontecer em diversos cenários, forma-se um GD. Há 4 partes ou processos principais envolvidos na Framework (figura 6). Primeiro é feita a recolha de toda informação sobre a geometria, propriedades mecânicas dos elementos e carga do tráfego real ou típica na ponte, que permite a construção tanto

do modelo numérico (Modelo de Elementos Finitos – MEF) como do modelo BIM. A obtenção da informação do tráfego real e que leve ao estado real da fadiga, implica a instrumentação (sensorização) da ponte e aplicação da técnica de Pesagem Dinâmica na Ponte (*Bridge Weigh-in-Motion (B-WIM)*), não sendo no entanto, escopo deste trabalho. A descrição da abordagem e implementação pode ser encontrada em [12].

**Figura 6**  
Framework do Uso BIM para caracterização da evolução de dano por fadiga da Ponte de Várzeas.

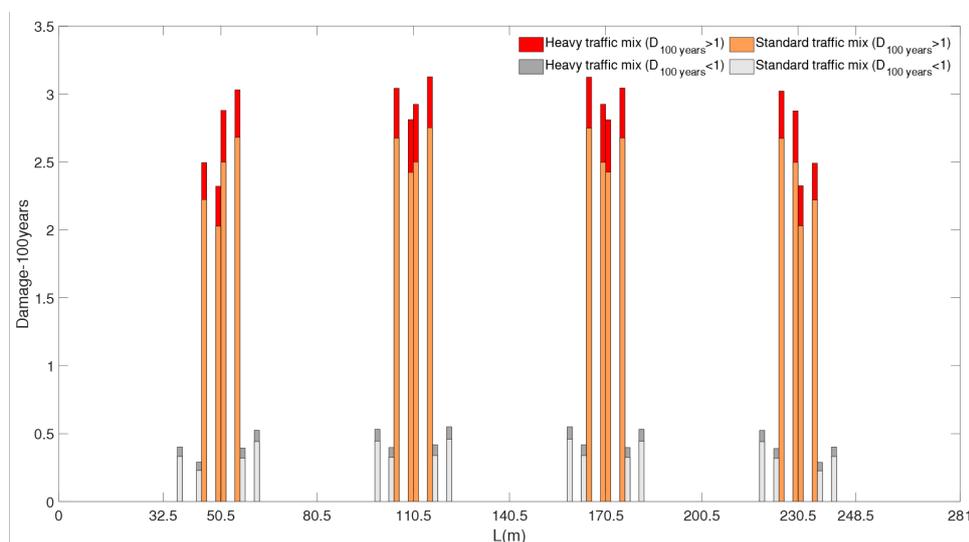


O MEF e o modelo BIM são construídos separadamente de forma paramétrica (através do APDL para modelo numérico e recursos de código aberto para o modelo BIM). A parametrização permite que seja possível automatizar a atualização dos modelos, assim como construir outros modelos da mesma natureza de forma mais rápida.

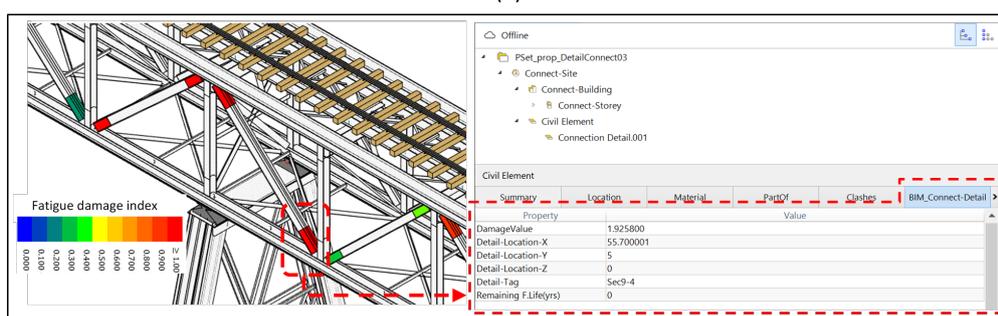
O MEF permite a determinação das propriedades estáticas ou dinâmicas da ponte e, quando combinado com o Método de Danos Lineares Acumulados (MDLA), forma-se o Sistema de Análise de Fadiga (SAF). Este sistema permite determinar, em função dos dados de entrada (carga do tráfego e propriedades geométricas), o dano por fadiga numa determinada ligação. A interligação entre o SAF e o Modelo BIM, incluindo como é feita a visualização e consulta da evolução do dano é ilustrada nesta Framework e resumidamente descrita na secção 2.

### 3.2. Resultados

A figura 7a mostra os valores de dano por fadiga processados para detalhes de ligações pertencentes às diagonais localizadas junto aos apoios da ponte e a 7b ilustra parte da representação da respetiva informação num visualizador BIM.



(a)



(b)

**Figura 7**

(a) Valores de dano por fadiga processados, para detalhes de ligações das diagonais localizadas junto aos apoios da ponte; (b) Exemplo de representação gráfica e não gráfica da informação do dano numa das diagonais – Visualizador BIM.

Esta representação é realizada após a integração da informação e produção do modelo BIM (integrado) em formato IFC, através dos processos anteriormente descritos. Os dados sobre o dano processados correspondem a cenários de carga dos comboios de fadiga tipo “Standard Traffic Mix” e “Heavy Traffic Mix” descritos no Eurocódigo 1-2 [13]. Com o auxílio do visualizador BIM, é possível identificar detalhes críticos ou zonas em bom estado e consultar a informação quantitativa sobre o detalhe em referência.

## 4. Conclusão

No leque das potencialidades do BIM, este trabalho demonstrou como o BIM pode ser utilizado para auxiliar o processo de avaliação de evolução de fadiga em pontes metálicas ferroviárias, sendo, portanto, uma forma de estender o seu uso. O modelo global é uma combinação do SAF e o modelo BIM da ponte, sendo o SAF responsável pelo processamento do dano por fadiga, alimentando continuamente o modelo BIM. Entre a informação de entrada para o processamento da fadiga está o tráfego normativo e o tráfego real (para o dano real). Este último, não utilizado neste trabalho e que conduz a um GD mais completo, implica a instrumentação da ponte (sensorização da ponte) e uso da técnica de Pesagem Dinâmica na Ponte (*Bridge Weigh-in-Motion*), conforme a framework representada na figura 6. Diferentemente do sistema normal de avaliação de fadiga, caracterizado por elevado trabalho manual, este modelo torna o sistema mais aberto e automático, permitindo que novos dados de entrada relacionados com cargas de tráfego ou propriedades geométricas sejam introduzidos de forma automática, resultando na representação automática da evolução de dano por fadiga, o que por último torna o processo mais rápido e flexibiliza a tomada de decisão.

## Referências

- [1] L. Liu, P. Hagedorn, and M. König, "BIM-Based Organization of Inspection Data Using Semantic Web Technology for Infrastructure Asset Management," in *Proceedings of the 1st Conference of the European Association on Quality Control of Bridges and Structures*, (Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, ch. Chapter 127, pp. 1117-1126.
- [2] CEN, "Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço. Parte 1-9: Fadiga," ed. Lisboa, Portugal: Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2010.
- [3] Y. Tian, X. Zhang, H. Chen, Y. Wang, and H. Wu, "A Bridge Damage Visualization Technique Based on Image Processing Technology and the IFC Standard," *Sustainability*, vol. 15, no. 11, 2023, doi: 10.3390/su15118769.
- [4] D. Queiroz, M. Placido, R. Silva, and W. Vital, "Influence of Topographic Data in the Development of Railway Projects Using BIM," *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, vol. 149, no. 6, 2023, doi: 10.1061/jtepbs.Teeng-7575.
- [5] A. S. Shishlov, A. M. Costin, and M. T. Davidson, "Integration of Building Information Modeling Interoperability into Nonlinear Finite Element Analysis of Bridge Substructures," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2677, no. 10, pp. 9-21, 2023, doi: 10.1177/03611981231160172.

- [6] L. Inzerillo, F. Acuto, A. Pisciotta, I. Dunn, K. Mantalovas, M. Zeeshan, and G. Di Mino, "Virtual Reality and Bim for Infrastructures," *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLVIII-2/W3-2023, pp. 81-88, 2023, doi: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W3-2023-81-2023.
- [7] P. Zhao and X. He, "Research on dynamic data monitoring of marine bridge steel structure building information based on BIM model," *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 14, no. 4, 2021, doi: 10.1007/s12517-021-06601-w.
- [8] T. Yamane, P.-j. Chun, and R. Honda, "Detecting and localising damage based on image recognition and structure from motion, and reflecting it in a 3D bridge model," *Structr and Infrastr Eng*, pp. 1-13, 2022, doi: 10.1080/15732479.2022.2131845.
- [9] buildingSmart-International, "Infrastructure Domain Roadmap," Version 1.0 ed, 2023.
- [10] IfcOpenShell. "IfcOpenShell, the open source ifc toolkit and geometry engine." <https://ifcopenshell.org/> (accessed December 07, 2023).
- [11] I. Nhamage, N.-S. Dang, C. Horas, J. Poças Martins, J. Matos, and R. Calçada, "Performing Fatigue State Characterization in Railway Steel Bridges Using Digital Twin Models," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 11, 2023, doi: 10.3390/app13116741.
- [12] R. Pimentel, D. Ribeiro, L. Matos, A. Mosleh, and R. Calçada, "Bridge Weigh-in-Motion system for the identification of train loads using fiber-optic technology," *Structures*, vol. 30, pp. 1056-1070, 2021, doi: 10.1016/j.istruc.2021.01.070.
- [13] CEN, "Eurocódigo 1 – Ações em estruturas – Parte 2: Ações de tráfego em pontes", ed. Lisboa, Portugal: Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2017.



# Implementação da metodologia BIM no projeto de obras de arte

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.15>

**Paulo Soares<sup>1</sup>, Pedro Serra<sup>1</sup>, Eva Jerónimo<sup>1</sup>,  
Cristina Costa<sup>1</sup>, Gonçalo Mateus<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> COBA – Consultores de Engenharia e Ambiente SA, Lisboa

## Resumo

A presente publicação pretende descrever as diferentes etapas de desenvolvimento e implementação da metodologia BIM ao projeto de obras de arte e a forma como a ferramenta BIM poderá evoluir o modus operandi do projeto. São analisadas 3 ferramentas de modelação BIM diferentes, sendo aplicada a um projeto real aquela que mais satisfaz as necessidades do projeto. Mesmo com os avanços tecnológicos das diferentes plataformas, é necessário recorrer a soluções criativas e originais para ultrapassar algumas das limitações identificadas. O objetivo do trabalho passa por, no final, obter um processo de trabalho digital que integre as etapas de modelação BIM, documentação do projeto, coordenação e cálculo estrutural.

## 1. Introdução

Atualmente assiste-se a uma transformação profunda na indústria da construção civil. O aumento do grau de exigência na concepção, construção e manutenção de infraestruturas aliado aos avanços tecnológicos registados no domínio da informática, têm motivado uma aposta na digitalização de processos com o objetivo de aumentar os níveis de eficiência e de qualidade na prestação de serviços, bem como na gestão do ciclo de vida.

Neste âmbito, a metodologia BIM (“Building Information Modelling”) que preconiza um processo de trabalho colaborativo centrado num modelo de informação digital que acompanha todo o ciclo de vida da infraestrutura, tem estado na génese do desenvolvimento de avançadas soluções de gestão integrada de projetos [1].

Com efeito, esta metodologia de gestão de projetos de construção tem registado resultados interessantes, com aplicações pontuais sobretudo nos países nórdicos [2] [3], EUA [4] e Austrália [5].

Neste enquadramento de crescente exigência, a COBA decidiu procurar e implementar soluções tecnológicas e processos de trabalho alicerçados na metodologia BIM, para a concepção de pontes e viadutos através da produção e manipulação de digital twins – representações digitais da obra de arte. O desenvolvimento desta nova metodologia teve como principal objetivo o incremento de qualidade dos projetos desta área através da integração das diferentes atividades de projeto: concepção, dimensionamento e documentação, tendo em consideração o potencial de aplicação ao restante ciclo de vida da infraestrutura, nomeadamente na monitorização, gestão e manutenção.

A presente publicação pretende descrever pormenorizadamente as diferentes etapas de desenvolvimento e implementação decorridas até ao momento na COBA, e apresentar os avanços e desafios identificados, descrevendo metodologias para ultrapassar estes desafios e potenciar todas as vantagens da utilização de digital twins no ciclo de vida das obras de arte.

A introdução desta nova metodologia de trabalho no projeto de obras de arte representa uma transformação a dois níveis: tecnológica – aquisição e desenvolvimento de ferramentas que respondam às necessidades do projeto – e processual – desenvolvimento e consolidação de novos métodos de trabalho apoiados nas novas tecnologias [6]. Tendo em vista estas duas vertentes, o trabalho foi organizado em três fases distintas. A primeira consistiu na identificação de ferramentas e tecnologias com potencial para responder às necessidades de projeto. Foram identificadas três soluções diferentes, que foram analisadas com o objetivo de identificar a solução que permitisse responder às necessidades de projeto de forma mais satisfatória. Ultrapassada esta etapa, partiu-se para a implementação em projetos piloto, perspetivando-se o estabelecimento de um novo método de trabalho para o desenvolvimento de obras de arte, alicerçado em ferramentas e processos digitais. A última

fase consistirá na consolidação deste método de trabalho com o objetivo de o tornar o padrão no desenvolvimento deste tipo de projetos dentro da empresa.

Antevê-se ainda uma quarta fase futura que possibilite a interação do modelo de cálculo integrado com o modelo BIM. Esta potencialidade, para além de um salto tecnológico da forma de realizar o projeto, permitirá em tempo real a adaptação da verificação da estrutura aos resultados da monitorização da mesma ao longo do tempo.

## 2. Avaliação de soluções

Como foi referido no capítulo anterior, o objetivo da primeira parte do trabalho consistiu na pesquisa de uma solução tecnológica que permita responder de forma adequada às necessidades do projeto de pontes e viadutos assim como de obras de arte correntes. Estas necessidades não diferem muito dos restantes projetos, e passam não só pela criação de modelos 3D, mas sobretudo pela sua utilização para incrementar a qualidade do projeto, nomeadamente através da documentação produzida (obtenção de peças desenhadas e quantificação), coordenação/integração com outras especialidades (em particular com o traçado de via que constitui um dado de base no projeto da obra de arte), e integração com os trabalhos de cálculo e dimensionamento estrutural.

Numa primeira análise ao software disponível no mercado, identificou-se um conjunto relativamente pequeno de ferramentas com real potencial para utilização no domínio das obras de arte. Das soluções identificadas foram analisadas as 3 que apresentavam características e abordagens mais interessantes:

- i) **Allplan** – Programa recente, desenvolvido especificamente para pontes, e com uma proposta inovadora sobre a integração do modelo de cálculo com o modelo BIM;
- ii) **Autodesk** – Reconhecidamente a maior softwarehouse de programas CAD e BIM, apresenta uma proposta para as obras de arte que envolve a utilização de diferentes programas e add-ons, alguns dos quais já em uso na empresa;
- iii) **Bentley** – A empresa utiliza já um conjunto alargado de programas desenvolvidos por esta softwarehouse, o que perspectivava uma simplificação no processo de aprendizagem e implementação. À semelhança do Allplan, a proposta da Bentley assenta numa solução desenvolvida especificamente para as obras de arte.

Assim, foram estabelecidos alguns parâmetros de avaliação para cada um dos programas, de forma a abranger as várias necessidades de projeto às quais é necessário dar resposta, nomeadamente:

- Capacidade das ferramentas de modelação na resolução dos problemas geométricos das obras, facilidade de utilização e adequabilidade às diferentes tipologias de obras em análise;

- Ferramentas e mecanismos disponíveis para a produção de documentação do projeto da obra, nomeadamente a extração de desenhos e de quantidades, bem como a qualidade destes outputs;
- Interação do modelo produzido com outros elementos de projeto (traçado da via, outras especialidades como a pavimentação e a drenagem, topografia e modelo digital de terreno);
- Interação entre o modelo físico (BIM) e modelo analítico para cálculo estrutural;
- Capacidade de integração numa metodologia BIM (adequação a possíveis requisitos BIM de donos de obra, e interoperabilidade via IFC).

O tipo de obras em análise apresenta uma variabilidade muito elevada no que diz respeito às soluções construtivas disponíveis ou aos materiais utilizados. Como tal, e com o intuito de avaliar qual o programa mais adequado às necessidades da empresa, foi escolhido um projeto já concluído, representativo do trabalho mais comum na empresa. Este projeto era composto por uma passagem superior de três vãos, com vigas de secção em I pré fabricadas, e que se desenvolvia sobre um traçado curvo tanto em planta como em perfil. Apresentam-se de seguida as principais valências e limitações dos programas analisados.

### 2.1. Allplan

A proposta da Allplan para as obras de arte especiais é inovadora, utilizando um fluxo de trabalho totalmente diferente dos restantes programas. Ao contrário da maioria das soluções, no Allplan, o trabalho de modelação desenvolve-se quase integralmente na plataforma de cálculo (AllplanBridge), com a criação do modelo analítico da obra de arte. Apenas posteriormente é obtido o modelo BIM, que surge como um output do modelo de cálculo. O modelo BIM é integrado na plataforma de modelação paramétrica generalista, o Allplan Engineering, onde são adicionados detalhes construtivos, é integrada a topografia de projeto, e são obtidas as peças desenhadas e listas de quantidades para documentação do projeto.

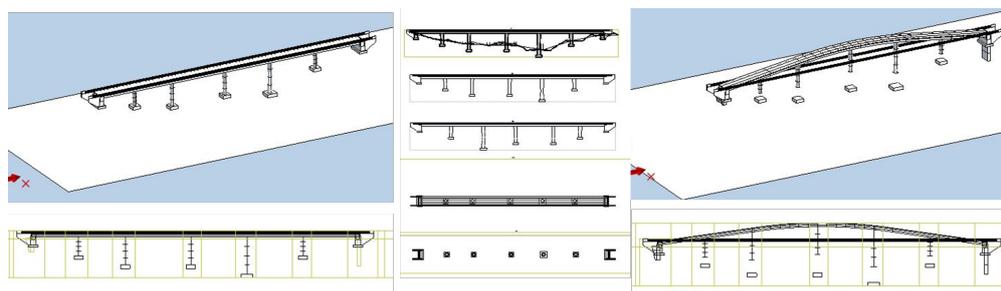
Em relação ao cálculo estrutural o programa apresenta uma interface simples e intuitiva, com um conjunto de passos sequenciais lógicos para a criação do modelo analítico da ponte, e que vão desde a definição planimétrica e altimétrica do traçado, até à programação da sequência construtiva, passando pela definição de secções, aplicação de cargas e pré-esforço ao longo do tempo. Apesar das valências, e à data em que a análise foi efetuada, o programa apresenta uma limitação relevante na modelação de elementos pré-fabricados.

Em virtude das dificuldades de modelação dos elementos pré-fabricados, foi necessário assumir uma simplificação do modelo de teste para prosseguir com a análise do software.

No que se refere à modelação, o programa Allplan Engineering conta com várias ferramentas, tanto paramétricas como de produção de formas livres, que permitem de forma eficaz complementar o trabalho de modelação necessário (produção de

elementos de outras especialidades como as drenagens, ou a integração da topografia para obter movimentos de terras). Estes elementos contêm toda a informação geométrica necessária, e são ainda complementados com os metadados típicos de elementos BIM como o material de que são compostos, propriedades físicas, variáveis geométricas, e até informação relativamente à operação e manutenção dos vários sistemas.

Foi também avaliada a capacidade de interação entre as duas plataformas: o Allplan Bridge e o Allplan Engineering (Figura 1). É importante conhecer os mecanismos que estas soluções oferecem na eventualidade de, durante o projeto, ocorrerem alterações relevantes na estrutura como uma mudança do alinhamento, uma alteração na dimensão dos vãos ou uma simples mudança da secção das vigas ou do tabuleiro. De acordo com o fluxo de trabalho, estas alterações terão de ser efetuadas no Allplan Bridge, seguidas de uma atualização do modelo físico (BIM) no Allplan Engineering. Apesar da ligação entre estas duas plataformas ser garantida internamente pelo software (ligação direta, sem recurso a ficheiros intermédios), verificou-se que se trata de uma simples operação de exportação/importação. Como consequência, todas as operações de modelação efetuadas no Allplan Engineering (como por exemplo a abertura de negativos para incorporar infraestruturas enterradas) são “perdidas” durante o processo. Esta situação representa uma menor eficiência no processo de modelação.



**Figura 1**  
Modelo no Allplan – à esquerda o original, à direita uma alteração ao traçado.

O programa apresenta ferramentas adequadas, com várias opções de customização, que permitem extrair as bases de desenho e as listas de quantidades.

Em conclusão, o Allplan apresenta duas ferramentas abrangendo todas as etapas do projeto, com resultados bastante satisfatórios em particular para pontes betoadas in-situ. No entanto, foram identificadas duas grandes limitações: a dificuldade na modelação de elementos prefabricados, e a incapacidade de interoperabilidade entre as duas plataformas de trabalho que coloca obstáculos na gestão do projeto.

## 2.2. Autodesk

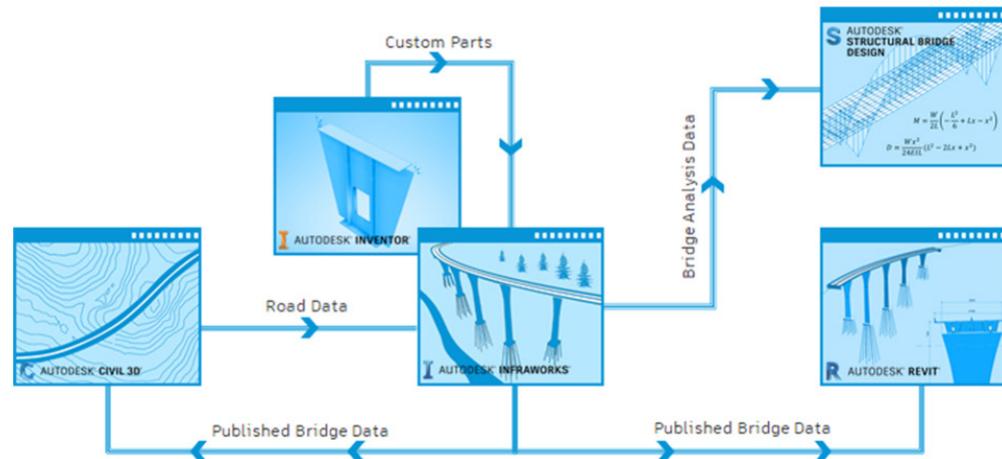
A Autodesk é provavelmente o maior fornecedor de software para a indústria AEC, com o Autocad e o Revit dois dos programas mais reconhecidos nas áreas do CAD e do BIM, respetivamente. Em relação às obras de arte, a Autodesk lançou recentemente uma proposta de abordagem baseada no funcionamento conjunto de vários

programas, nomeadamente: Civil 3D, Infracworks, Revit, Inventor e Autodesk Structural Bridge Designer.

A solução Autodesk apresentada aparenta ser complexa devido ao elevado número de programas a implementar para o desenvolvimento da obra de arte (Figura 2).

**Figura 2**

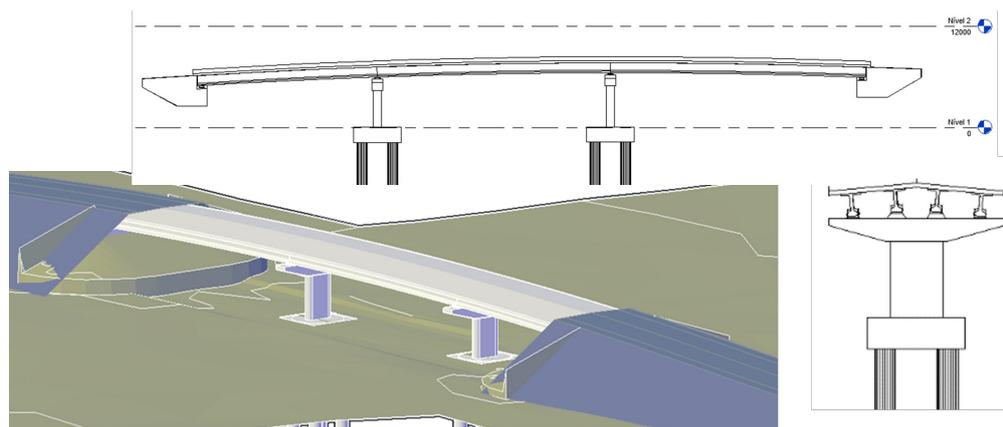
Solução da Autodesk – Programas e fluxo de trabalho. Adaptado de [7].



Aproveitando o facto de o alinhamento da ponte de teste, ter sido desenvolvido precisamente no Civil 3D, o primeiro passo da avaliação passou pela ligação entre este software e o Infracworks. A interoperabilidade entre os dois programas é direta, e com uma adequada capacidade de atualização na eventualidade de existirem alterações ao traçado. Nesta fase foram obtidos de forma correta o alinhamento, “corredores” da via, superfície da estrada e definição da secção transversal. O Infracworks permite integrar toda esta informação juntamente com a topografia resultante de um levantamento no local, ou em alternativa, a partir de uma base de dados própria da Autodesk, gerando não só uma superfície topográfica, mas também um conjunto de elementos reconhecidos de forma automática e que traduzem as estradas existentes, caminhos de água, edificações, etc. Apesar da baixa resolução, estes elementos podem servir como um ponto de partida para o trabalho de implantação da obra, sobretudo em fases de projeto muito iniciais.

Uma vez obtidos os elementos base para trabalho, foram testadas as ferramentas disponíveis para a modelação da obra de arte. Para o efeito, o programa conta com uma biblioteca relativamente extensa de objetos paramétricos, que permitem modelar de forma expedita o tabuleiro, a secção da ponte tanto para obras betonadas in-situ como em vigas pré-fabricadas, os pilares e os encontros. No entanto, e à semelhança do que se verificou no Allplan, para pontes de vigas pré-fabricadas, o programa apresenta alguns desafios na adaptação das vigas de forma satisfatória a traçados curvos, em particular em altimetria.

O passo seguinte no fluxo de trabalho proposto, é o de transpor a ponte para o Revit de forma a pormenorizar e complementar o modelo criado. Do ponto de vista geométrico a transposição para o Revit funciona corretamente, com todos os elementos da ponte traduzidos na íntegra (Figura 3).



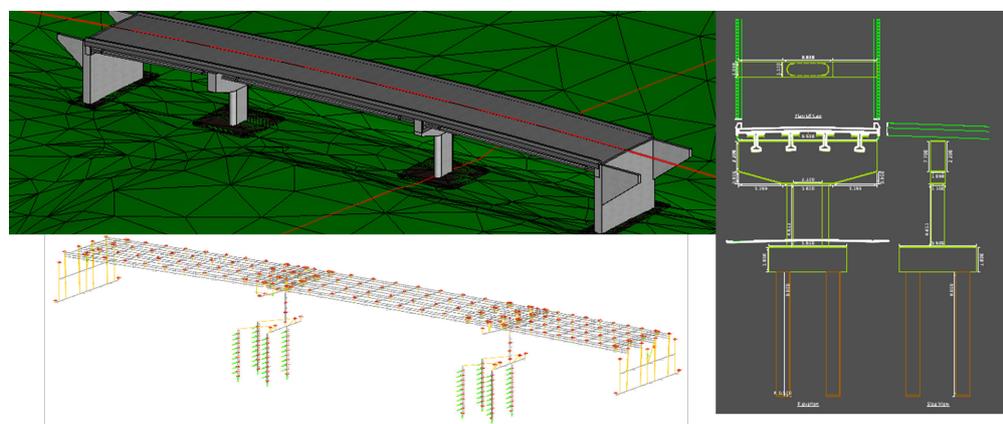
**Figura 3**  
Modelo 3D (Civil 3D) –  
vista frontal e corte na  
zona do pilar (Revit).

Devido à limitação do programa Revit em gerar cortes ao longo de alinhamentos curvos, os desenhos que traduzem o perfil longitudinal da ponte têm de ser obtidos através do Civil 3D. Para o efeito é necessário obter o modelo da obra de arte neste software, o que pode ser feito a partir do Infracore (como sugere o fluxo de trabalho proposto pela Autodesk, e para o qual existe uma ligação direta entre os dois programas) ou do Revit (sendo necessário utilizar um ficheiro intermédio como o IFC ou o DWG). No caso em análise foram avaliadas as duas hipóteses, ambas com sucesso, verificando-se que em ambos os casos a geometria é obtida de forma correta no Civil 3D.

Em conclusão, a solução da Autodesk resolve apenas em parte, um dos principais problemas identificados no Allplan, relacionado com a geometria da obra de arte quando esta é suportada por elementos prefabricados. Ainda assim o programa mantém esta limitação quando o traçado da via apresenta elementos curvos em altimetria, sem oferecer qualquer workaround para a sua resolução. A integração do Civil 3D e do Revit no fluxo de trabalho proposto é uma mais valia desta solução, pela qualidade reconhecida dos programas amplamente utilizados na indústria.

### 2.3. Bentley

Por último, foi analisada a solução proposta pela Bentley (Figura 4).



**Figura 4**  
Em cima: modelo  
BIM no OpenBridge;  
À direita: cortes  
na zona do pilar;  
Em baixo: modelo  
analítico no RM obtido  
automaticamente do  
modelo BIM.

A Bentley apresenta uma solução específica num pacote de software designado OpenBridge Designer, que inclui o OpenBridge Modeler (OBM) – ambiente de trabalho para modelação paramétrica da ponte – e o RM Bridge (RM) – software de cálculo estrutural específico para pontes. A proposta da Bentley para as obras de arte passa pela criação do modelo BIM no OpenBridge Modeler, e posterior análise no RM, em que o modelo de cálculo é obtido do modelo físico através de uma ligação direta interna entre os dois programas.

A análise do programa teve início com a definição do traçado da via onde a obra de arte está inserida. À semelhança das soluções anteriores, o programa conta com um conjunto de ferramentas de modelação, apoiadas em objetos paramétricos, mas neste caso, permitindo a correta adaptação da geometria das vigas pré-fabricadas retas, ao alinhamento curvo da via, tanto altimetricamente como planimetricamente.

A biblioteca de objetos paramétricos é relativamente extensa, e permite ainda a criação de novos objetos diretamente dentro do programa (ainda que seja uma tarefa reservada a utilizadores experientes). Também a interatividade entre alinhamento, obra de arte e DTM é muito elevada, bastando alterar por exemplo, as dimensões da fundação, para que o volume de escavação associado seja atualizado em conformidade automaticamente. De facto, a facilidade na modelação da obra de arte com as ferramentas paramétricas do OpenBridge Modeler permitiu aprofundar as capacidades do software, que nas outras soluções não foi possível.

Resumidamente, a solução da Bentley foi a que permitiu resolver o problema das pontes prefabricadas de forma mais eficaz. Dada a limitação relevante relativamente à forma como a secção das vigas é extrudida é simples a substituição destes elementos por vigas reais. A resposta mais eficaz do software a este problema permitiu que fossem testadas situações novas e conseqüentemente, detetar novos problemas. Estes apenas são ultrapassados através da modelação não paramétrica.

Apesar de serem muito diferentes nas abordagens ao problema, as três soluções apresentam algumas características comuns, nomeadamente naquela que parece ser a maior dificuldade técnica: a correta modelação de soluções prefabricadas. Ainda assim, a solução da Bentley destacou-se das restantes por ser a que produzia o modelo mais aproximado à realidade. Este foi um dos motivos que levou à escolha deste programa para a fase seguinte de implementação em projeto piloto que irá ser apresentada de seguida.

### 3. Projeto piloto

Concluída a fase de avaliação das soluções, foi escolhido um projeto em curso para implementação do novo processo de trabalho suportado pelo OpenBridge Designer. O projeto escolhido contemplava 4 passagens superiores com soluções construtivas de vigas pré-fabricadas (representativas do tipo de obra de arte mais comum nos projetos desenvolvidos na empresa). As 4 passagens superiores eram obras com muitas semelhanças no que diz respeito à sua implantação com 3 vãos de dimensões

idênticas, à solução estrutural do tabuleiro integrando vigas de betão pré fabricadas e à geometria (secções de tabuleiro e vigas semelhantes, encontros e pilares também com uma geometria idêntica entre as 3 obras de arte).

Apesar do risco associado, apenas é possível ter uma real perceção das valências e limitações da ferramenta, numa situação real de projeto. Por esse motivo, e numa ótica de otimização de recursos, optou-se por aplicar esta nova metodologia de trabalho ao projeto em curso, utilizando os modelos para, no imediato, documentar o projeto em desenvolvimento.

O desenvolvimento da primeira obra veio confirmar algumas das conclusões retiradas da fase de avaliação, nomeadamente as melhorias que a ferramenta permite obter na forma como a obra de arte é implantada, mesmo com as limitações apresentadas anteriormente. O facto de os modelos estarem a ser utilizados para o projeto real gerou a necessidade de criar um processo de trabalho novo que permitisse contornar as limitações da ferramenta. Nem todos os elementos puderam ser modelados de forma paramétrica, o que cria alguns constrangimentos quando o utilizador é confrontado com uma alteração. Delinearam-se por isso dois momentos distintos de modelação: o primeiro, designado por “paramétrico” onde se procura modelar com a maior exatidão possível, todos os elementos da ponte que podem ser obtidos com as ferramentas paramétricas; e um segundo momento, onde este modelo é arquivado, e se passa à modelação livre dos restantes elementos, corrigindo os objetos paramétricos e adicionado a pormenorização necessária. Quando existe uma alteração ao projeto que se reflete na geometria da obra de arte, o utilizador deve avaliar o impacto dessa alteração e decidir se a implementa apenas no modelo final, ou se necessita de modificar o modelo paramétrico (grandes alterações como a modificação do traçado da via), e reiniciar o processo. Neste segundo caso, a manutenção do antigo modelo final, permite recuperar muitos dos detalhes e da geometria que foi modelada de forma livre, para a nova solução, com ganhos de eficiência relevantes.

A aplicação num projeto real (Figura 5) fez surgir novas questões, como por exemplo, o impacto das sobrelevações da via na obra de arte, e a sua modelação. Para este caso, o software deu uma resposta eficaz, permitindo introduzir estes efeitos de uma forma relativamente simples, em que a parametrização das secções transversais das vigas e do tabuleiro, reagiam de forma adequada a uma variação da posição da secção em função da sobrelevação.



**Figura 5**  
Modelo BIM no  
OpenBridge.

Durante este projeto, foi efetuado em simultâneo, um esforço de modelação analítica com o RM. Os resultados desta análise foram posteriormente comparados com a análise efetuada durante o projeto através das ferramentas habitualmente utilizadas. Este trabalho teve como objetivo familiarizar os utilizadores nesta nova ferramenta, e aumentar o grau de confiança da equipa de Engenharia neste novo programa, antes de uma aplicação generalizada do mesmo às obras em análise. Neste momento, o projeto das 4 obras está completo e entregue ao dono de obra, tendo sido produzidos 32 desenhos de projeto totalmente a partir do BIM e 56 bases de desenho para produção de armaduras, totalizando 88 peças desenhadas, resultando em 80% do desenho do projeto oficialmente apresentado realizado a partir do modelo BIM.

#### 4. Conclusões

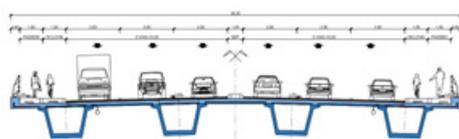
O processo de análise de soluções tecnológicas para o problema abordado, evidenciou o nível de complexidade que as obras de arte apresentam, tanto pela geometria complexa que as compõe, como pela multiplicidade de soluções estruturais/construtivas e de materiais utilizados na sua execução. Importa referir que, atualmente, este tipo de software evolui rapidamente, e muitas das limitações encontradas, serão provavelmente resolvidas em versões futuras.

Mesmo com as limitações identificadas, podemos concluir que a utilização de modelos digitais nas obras de arte representa um avanço significativo para este tipo de projetos. O rigor e fiabilidade das soluções obtidas aumenta, através da implementação de uma metodologia de trabalho tipo BIM, suportada por um digital twin da obra de arte. Até à data, este novo processo de trabalho não representa ainda um aumento de eficiência quando comparado com o processo tradicional. No entanto, nesta fase, foi investido tempo e recursos consideráveis na formação de utilizadores e na adaptação às novas ferramentas de trabalho, pelo que se perspetiva que este indicador venha a melhorar em aplicações futuras.

A partir deste projeto piloto formaram-se novas capacidades, tendo então sido adotadas novas metodologias de trabalho por forma a fazer face ao desafio da realização de Digital Twins. Um dos principais desafios foi a necessidade de criar novos métodos por forma a estabilizar os processos de engenharia que alimentam a realização do modelo BIM. Verificou-se também que a realização de partes do modelo de forma modular permite tirar melhor desempenho do todo o processo. Concluiu-se ainda que, ao contrário do que inicialmente se previu, os modelos BIM são uma ferramenta muito eficaz em fases preliminares da elaboração dos projetos e que englobam outras frentes de projeto como a integração viária e paisagística (ver Figuras 6 e 7).



**Figura 6**  
Modelos OpenBridge em BIM – Ponte de avanços sucessivos integrado no DTM e Passagem Superior Pedonal.



**Figura 7**  
Modelo OpenBridge exportado para um programa de tratamento de imagem.

Mais recentemente a equipa de BIM da COBA tem estado envolvida em novos desafios que respeitam a implementação do registo de dados de instrumentação instalada em pontes para o Modelo de gestão BIM em tempo real.

### Desafios do futuro do Digital Twin – BIM

Os primeiros registos de um plano de representação à escala em pedra calcária com 80cm por 32cm foi encontrado na Jordânia por arqueólogos e datam de há nove mil anos atrás[8]. Parece assim provável que, com a utilização de um modelo digital tridimensional, muita da documentação habitualmente utilizada para transmitir a imagem da obra de arte, se torne obsoleta. A utilização de, por exemplo, alçados desenvolvidos ou secções-tipo, pode deixar de fazer sentido neste novo contexto. Estes elementos têm pouca adesão ao rigor geométrico da obra e são representações esquemáticas que pretendem facilitar a compreensão da obra em vez de a definir. Com a generalização dos modelos digitais, esta necessidade deixa de existir, podendo as representações esquemáticas ser substituídas por imagens do modelo 3D da obra de arte. Neste novo processo de trabalho, a obtenção deste tipo de elementos, sem adesão à realidade, é, inclusive, muito difícil de executar. Este tipo de situações estende-se a outras situações, como por exemplo na obtenção de mapas de quantidades de trabalho. A extração de quantidades apoiada pelo modelo 3D, torna igualmente obsoleta a representação detalhada que atualmente é utilizada, para rastrear e verificar a correção da medição. Há ainda a reter que o conceito do Digital Twin ultrapassa em muito o projeto de construção. Permite capacitar o Dono de Obra de uma ferramenta de gestão, manutenção e exploração do empreendimento.

No entanto, esta transformação dos outputs do projeto só poderá ocorrer quando a utilização destas metodologias for generalizada tanto por Projetistas, como Empreiteiros e Donos de Obra.

## Referências

- [1] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Hoboken, NJ.: Wiley, 2011.
- [2] J. Johansen, "BIM in Bridge Design," Norwegian University of Science and Technology, 2013.
- [3] T. Kivimaki and R. Heikkila, "Bridge Information Modeling (BrIM) and model utilization at worksite in Finland," 27th Int. Symp. Autom. Robot. Constr., 2010.
- [4] Beyond Design, "Bay Bridge Construction". [Online]. Disponível em: <https://beyonddesign.typepad.com/posts/2013/09/bay-bridge-construction.html>
- [5] Bentley Systems, Incorporated, "2021 Infrastructure Yearbook " Bentley, 2022
- [6] S. Chen and 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," Transp. Research Board Natl. Acad., 2006.
- [7] Autodesk, "Bridge Design – Customer Success Hub". [Online]. Disponível em: <https://customersuccess.autodesk.com/challenges/bridge-design>
- [8] <https://newatlas.com/science/worlds-oldest-blueprints-desert-kites/>

## **Parte II – Gestão da informação e Sistemas de apoio ao projeto**



# BIM e Inteligência Artificial: Uma análise bibliométrica na indústria da construção

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.16>

**Lorena Moreira<sup>1</sup>, Paula Mota<sup>2</sup>,  
Fernanda Machado<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA, 0000-0001-8172-6572

<sup>2</sup> SIPPRO, Birmingham – UK, 0009-0001-8602-6740

<sup>3</sup> Autodesk, São Paulo – SP, 0000-0001-5571-1254

## Resumo

O período da pandemia acelerou a transformação digital, posicionando as soluções digitais integradas no cerne das estratégias corporativas do mercado, em nível global. No âmbito da indústria da construção, a definição de objetivos de negócio que convergem para maior resiliência, competitividade e inovação aponta para a adoção da Modelagem da Informação da Construção (BIM) como espinha dorsal das mudanças. O BIM integrado à Inteligência Artificial (IA) tornou-se destaque em aplicações interdisciplinares, por ser um caminho potencial para melhorar a eficiência e precisão dos processos de projeto, construção e operação de empreendimentos. Essa interface traz à luz a capacidade computacional de resolução de problemas e o subsídio às tomadas de decisão orientadas por dados. Nesse sentido, o objetivo deste artigo é apresentar uma análise bibliométrica de pesquisas que exploram a interface entre BIM e IA abrangendo a identificação e classificação dos artefatos em áreas de aplicação referentes a Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação. A metodologia empregada foi a bibliometria integrada à revisão bibliográfica. Os periódicos *Buildings* e *Automation in Construction* destacaram-se com o maior número de publicações nessa área, sendo identificados na amostra a produção científica anual, documento mais citado mundialmente, palavras-chave e países líderes. As contribuições explanam os principais indicadores sobre a combinação de BIM com métodos de IA, a exemplo de tecnologias empregadas, tendências de crescimento e aplicação.

## 1. Introdução

O período da pandemia acelerou a transformação digital cerca de três a quatro anos, posicionando as soluções digitais integradas em nível global [1], [2]. No âmbito da indústria da construção, a definição de objetivos de negócio que convergem para maior competitividade aponta para a adoção de inovações tecnológicas que permitem o gerenciamento da informação no ciclo de vida de ativos, a exemplo de BIM, robótica, contratos inteligentes e Inteligência Artificial (IA) [3]. Em pesquisa realizada pela [1], essas inovações foram caracterizadas como tendências emergentes do ecossistema de tecnologias da indústria. Seu agrupamento em *clusters* abarca uso aplicados em *back-office*, colaboração digital e execução no campo, bem como soluções interconectadas. Entre os indicadores de quais tecnologias estão ganhando mais força no setor, o relatório descreve em constelações tecnológicas: (i) impressão 3D, modularização e robótica; (ii) gêmeos digitais; (iii) IA e *analytics*; e (iv) otimização da cadeia de suprimentos e *marketplaces*.

Nesse contexto, [4] observam que a IA está evoluindo como a próxima fronteira para impulsionar a engenharia civil tradicional; e traz à luz a capacidade computacional de raciocínio, aprendizagem e resolução de problemas complexos para subsidiar tomadas de decisão orientadas por dados. Suas técnicas percorrem, a título de exemplo, aprendizagem de máquina (*Machine Learning - ML*), aprendizagem profunda (*Deep Learning - DL*), IA generativa e, eventualmente, design generativo no âmbito da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). De acordo com [5], uma vez que a construção civil é reconhecida como um campo intenso de dados e o BIM se posiciona como uma espinha dorsal digital para ampliar a inteligência nas diversas etapas de um empreendimento, há campo exploratório para a integração BIM/IA e tecnologias correlatas. A interdisciplinaridade inerente à integração BIM/IA reverbera em potenciais aplicações de automação e análise; como modelagem, aprimoramento semântico, checagem e controle de qualidade, entre outros, tendo em vista melhorias na produtividade destas e de outras diversas atividades.

É relevante observar que o BIM tem sido amplamente adotado no mercado global em domínios de aplicação que correspondem a mais de 76 usos [6] associados à indústria da construção, como captura da realidade, planejamento, simulação e quantificação, até o vínculo entre sistemas corporativos como Facility Management (FM). Ademais, [7] estima que até 2026, 77% das companhias ampliarão investimentos em IA e tecnologias emergentes; e um terço destas acreditam na ubiquidade da IA e sua adoção em todas as áreas. Logo, o objetivo deste artigo é apresentar uma análise bibliométrica de pesquisas que exploram a interface entre BIM e IA abarcando a identificação e classificação dos artefatos produzidos em AECO.

## 2. Método

Este estudo é exploratório e a pesquisa bibliográfica foi o método empregado com o uso do estudo bibliométrico. A disciplina da bibliometria desempenha um papel

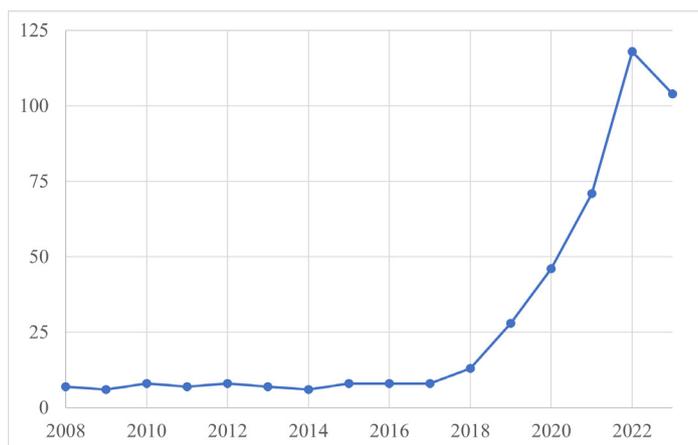
significativo na delimitação de tendências relacionadas à expansão, dispersão e declínio em domínios específicos do conhecimento. A bibliometria concentra-se na análise da estrutura e organização de áreas científicas e tecnológicas, fundamentando-se em fontes bibliográficas e informações provenientes de patentes [8]. Com o objetivo de realizar o mapeamento da literatura científica dos termos citados foi utilizado o *software* livre Bibliometrix (versão 4.2.3), criado em linguagem R pela “*The R Foundation for Statistical Computing Platform*” para auxiliar na compilação de dados e análise das informações. O Bibliometrix foi empregado com a extensão Biblioshiny, que cria uma interface gráfica facilitando a visualização dos dados [9].

Para esse estudo foram pesquisados trabalhos de congressos e artigos publicados em periódicos indexados na base de dados *Web of Science*, sem a determinação de um intervalo temporal, nem definição de idioma. O tipo da busca foi por tópico, que abrange o título, o resumo, as palavras-chaves do autor e os termos gerados a partir dos artigos citados na amostra (*keywords plus*). A busca na base de dados foi realizada em setembro de 2023 e seu delineamento foi iniciado pela etapa A - fundamentação teórica, seguida da etapa B - formulação dos termos de busca, etapa C - busca das fontes, e etapa D - análise e apresentação de resultados. A etapa A foi realizada por meio de uma revisão bibliográfica. Já a etapa B contemplou as palavras BIM e IA (*string*: “*building information modeling*” and BIM and “*artificial intelligence*”) e resultou em 90 artigos. Entende-se que o resultado da amostra não expressa a totalidade de trabalhos nesse campo de conhecimento, o que pode gerar uma pesquisa futura em outras bases de dados além da *Web of Science*. Na etapa C, 15 artigos não estavam disponíveis para *download* e foram excluídos. Na etapa D serão apresentados os gráficos originados de dados bibliométricos compilados pela plataforma Bibliometrix e será apresentado um esquema de objetivos, áreas de aplicação, tecnologias empregadas e práticas realizadas de BIM com IA.

### 3. Resultados

Dos 90 resultados encontrados na base de dados, constata-se crescimento exponencial do número de artigos a partir de 2018, atingindo seu ápice em 2022 (Figura 1). Acredita-se que esse fenômeno se deva a fatores como o alto nível de maturidade BIM – que proporciona uma base sólida para explorar a IA, o avanço nos experimentos de IA buscando inovação na indústria da construção civil, e o aumento nos investimentos em *startups* que exploram BIM com IA. Como a busca na base de dados foi até setembro de 2023, infere-se que a queda do gráfico nesse ano é inexpressiva, uma vez que a busca não atingiu a completude anual.

**Figura 1**  
Produção científica  
anual de BIM com IA.

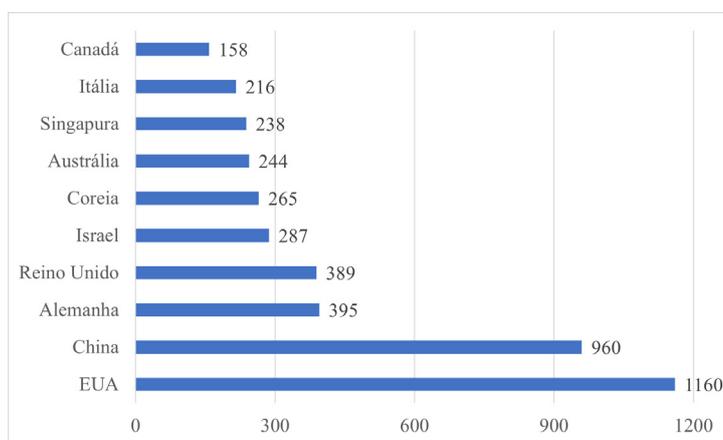


Entre os países mais citados, observa-se que a corrida tecnológica está sendo dominada por Estados Unidos e China, cada um com 1160 e 960 resultados respectivamente. Esses dois países emergem como protagonistas na produção e disseminação de conhecimento tecnológico. Alemanha, Reino Unido, Israel, Coreia, Austrália, Singapura, Itália e Canadá surgem entre os 10 países mais citados. Brasil e Portugal não aparecem entre os primeiros resultados, mas estão presentes entre os 30 mais citados. Esse dado é um sinal de que há potencial para um aumento da visibilidade e impacto científico-tecnológico dessas regiões (Figura 2). Essas observações oferecem informações importantes sobre a distribuição geográfica do conhecimento científico-tecnológico, destacando as potências dominantes e identificando países que podem desempenhar papéis estratégicos em determinados campos de pesquisa.

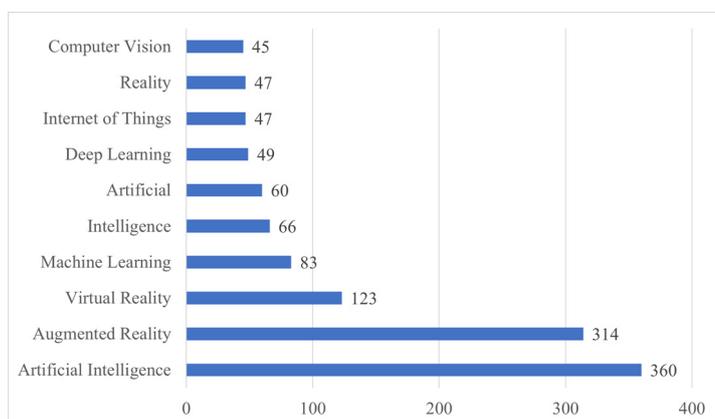
Em termos de fontes mais relevantes da amostra para o universo de BIM com a IA surgem os periódicos *Buildings*, *Automation in Construction* e *Sustainability* como os três mais influentes. Já o documento mais citado mundialmente nesse campo foi o *Roles of Artificial Intelligence in Construction Engineering and Management: A Critical Review and Future Trends*, publicado na *Automation in Construction* [10], que aborda *blockchain*, *big data*, realidade virtual (*virtual reality – VR*) e realidade aumentada (*augmented reality – AR*) como tecnologias que, aliadas ao BIM e a IA, são importantes para a transformação digital na indústria da construção. A pesquisa também revela que a aplicação de gêmeos digitais em cidades apresenta-se como uma tendência futura, permitindo a simulação, a previsão e as tomadas de decisão como fatores estratégicos em ambientes urbanos complexos.

A análise das palavras mais relevantes nas pesquisas fornece uma visão significativa sobre as tendências no campo de estudo abordado. Em termos de palavras mais relevantes, destacam-se IA e AR. A VR vem em seguida reforçando essa afirmação e sugere uma abordagem abrangente, que envolve a experiência imersiva para a interação em contextos relacionados. Também fazem parte da amostra (Figura 3): ML, DL, internet das coisas (*internet of things - IoT*) e visão computacional (ou *computer vision*), apontando não somente o papel geoespacial e de contexto do BIM na integração, como também sua caracterização como fonte estruturada de dados. Em resumo, a análise das palavras-chave destaca uma interconexão entre BIM, IA, AR e

outras tecnologias. Essa interdisciplinaridade reflete a natureza múltipla das pesquisas, evidenciando a necessidade de uma abordagem integrada.



**Figura 2**  
Países mais citados da amostra.



**Figura 3**  
Palavras mais relevantes.

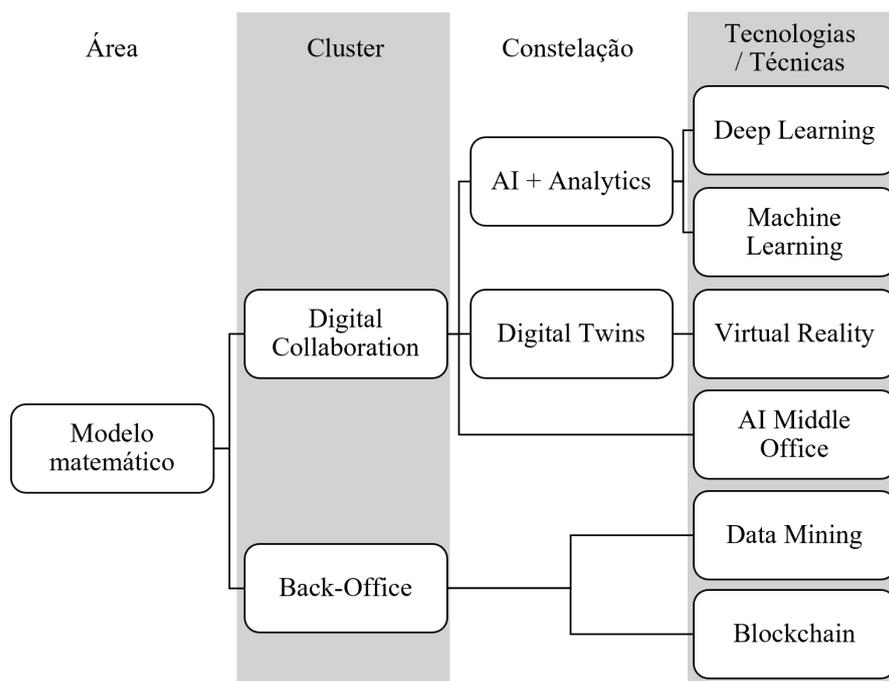
A nuvem de palavras por autor proporciona a complementação dos termos de busca a partir dos títulos de artigos citados – keyword plus. Com relação a amostra pesquisada, foram elencadas 50 palavras-chaves recorrentes (Figura 4).

Essas recorrências de palavras proporcionam uma visão geral das áreas e conceitos mais enfatizados nas pesquisas sobre BIM com IA fornecendo orientações sobre os tópicos de interesse na interseção dessas duas disciplinas. Em resumo, a análise das palavras-chave destaca a importância central do BIM, a atenção à modelagem e integração de sistemas, a aplicação prática em *design* e indústria, a exploração de VR/AR, os esforços para estabelecer *frameworks* unificados, a interconexão com a IoT, o tratamento de *big data* e simulações, bem como desafios e oportunidades nesse domínio.

Para um melhor entendimento, ampliando a rede de palavras apresentadas na amostra para aquelas mais recorrentes dos resumos, pode-se extrair a visualização gráfica da relação existente, conforme apresentado na Figura 5, na rede de co-ocorrência de palavras.



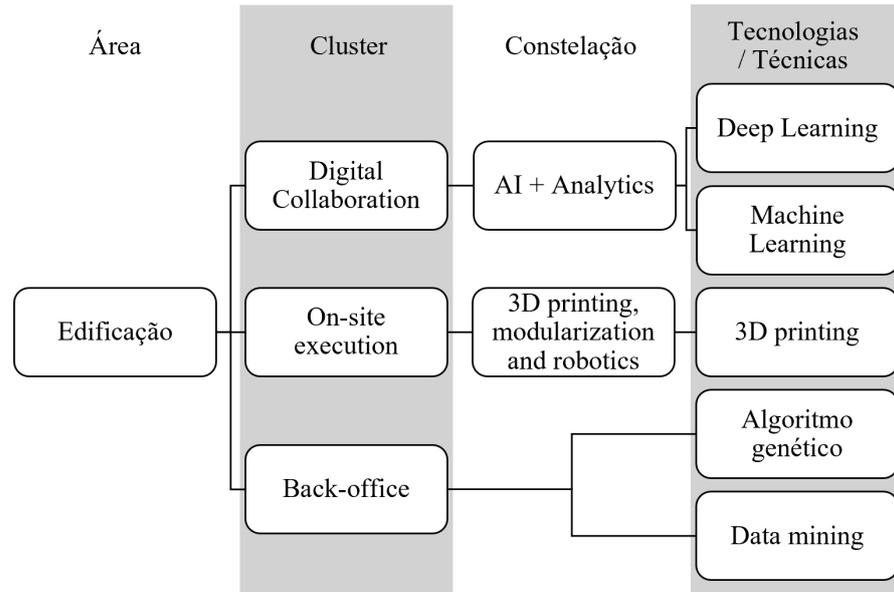
para *inputs* em um software VR, propondo-se a interação de usuários com modelos BIM em ambientes imersivos – sem a necessidade de controladores físicos. O foco em [14] é a gestão de projetos de construção por meio de um AI Middle Office, que fornece suporte a evidências para as partes interessadas, define responsabilidades em termos de condições contratuais, prevê preços de materiais, analisa custos e a programação do projeto durante a construção. As aplicações incluem técnicas de IA inerentes a ML, DL; processos de *data mining*, e tecnologias de *blockchain* e VR; conforme Figura 6.



**Figura 6**  
Diagrama da área de aplicação (i) Modelo Matemático.

Por sua vez, na área de edificação (Figura 7) com ênfase comercial ou residencial, a qual apresentou maior recorrência de aplicações, os estudos abrangem domínios relativos ao planejamento de empreendimentos, *design* de interiores, otimização de *layouts* de materiais de construção e vigilância em edifícios.

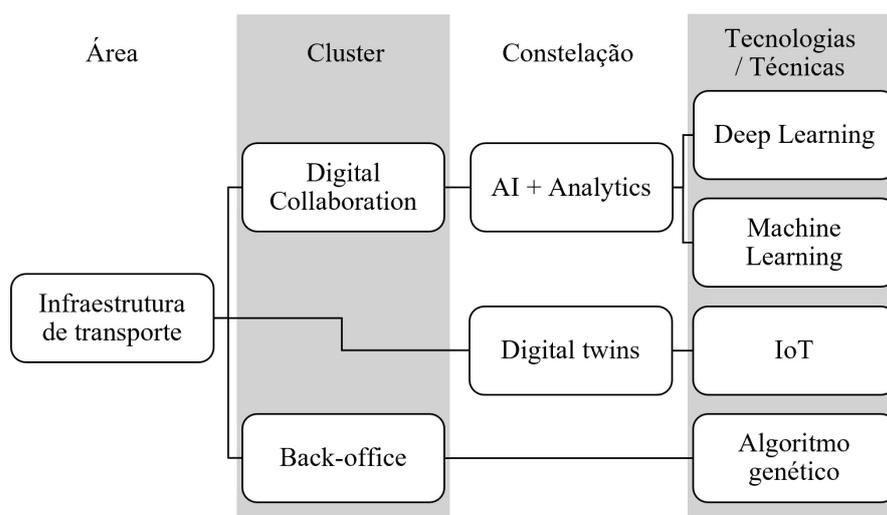
**Figura 7**  
Diagrama da área de aplicação (ii) Edificação.



A integração BIM/IA nestas investigações visa o desenvolvimento de conjuntos de dados para testar a integridade semântica de modelos BIM [15], a criação de uma plataforma baseada em IA para facilitar o acesso à informação em modelos 4D [16] e [17], a otimização do *design* de edificações [18] e [19], a geração do sequenciamento das atividades do projeto [20], a redução do desperdício de materiais [21], e o uso de algoritmos de otimização para monitorar o comportamento dos ocupantes [22] e [23]. As aplicações incluem tecnologias avançadas tais como *design* paramétrico, VR/AR, computação em nuvem, e GIS; NLP, processo de decisão de Markov (MDP) e técnicas de IA que envolvem ML supervisionado e não supervisionado, como algoritmos de *support vector machine* (SVM), algoritmos de otimização genética e auto-ajustáveis – a exemplo de *symbiotic organisms search* (SOS), bem como DL abrangendo *convolutional neural networks* (CNNs). Esse resultado reflete a diversidade de aplicações e a abordagem abrangente de BIM e IA na otimização de processos e tomada de decisões.

Os artigos que aplicaram BIM com IA na área de edificação com ênfase institucional, empregam ML como método. Em termos de tecnologias avançadas, utilizam de *design* paramétrico, simulação computacional, programação visual, computação em nuvem, GIS, VR/AR, robótica e reconhecimento facial. Essas tecnologias integradas auxiliam a tornar mais eficientes objetivos específicos como adaptação de layouts, simulação de multidões e gestão de ativos [24], [25] e [26]. Já a área de edificação com foco em patrimônio abarca estudos com o objetivo similar de aprimorar o setor construtivo com o uso de BIM com IA, a partir da detecção, avaliação e digitalização de danos em edificações existentes [27], reconstrução *Scan-to-BIM* do patrimônio a partir de dados de levantamento, segmentação semântica e classificação de elementos arquitetônicos [28] e gestão e recuperação de conteúdo BIM em projetos históricos [29]. As investigações utilizam técnicas de IA inerentes a ML e DL, e o processo de *data mining* (Figura 10) para otimizar os processos construtivos. Em termos de aplicações e modelos avançados, explora-se o uso de CNNs e algoritmo *Random Forest*.

Em relação à área de infraestrutura de transporte (Figura 8) com ênfase ferroviária, os artigos levantados abordam técnicas de IA inerentes à DL e tecnologias pertinentes à IoT para localizar defeitos na infraestrutura ferroviária, com alto grau de precisão (a exemplo de queimaduras de roda) [30], desenvolver um sistema de treinamento de evacuação de incêndio com usuários reais [31] e automatizar a modelagem paisagística a partir da captura da realidade via escaneamento a laser (LiDAR) [30], [31] e [32]. No domínio da DL, foram considerados os modelos CNNs/R-CNNs e *deep neural networks* (DNNs). Os usos referentes à captura envolvem veículos aéreos não tripulados (VANTs) e a voxelização de dados 3D.

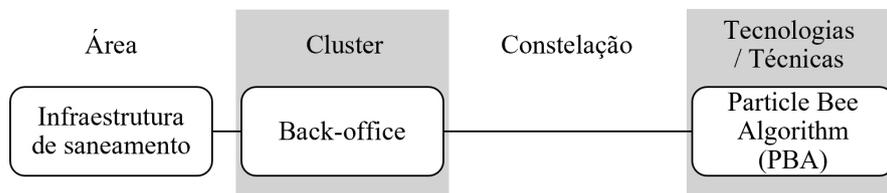


**Figura 8**  
Diagrama da área de aplicação (iii) Infraestrutura de transporte.

No âmbito das obras de arte especiais, os estudos detêm como objetivo simular incertezas geotécnicas, avaliar riscos de segurança em obras de túneis de diâmetro significativo, identificar e segmentar anomalias na estrutura em tempo real, prever o crescimento dos danos e aprimorar tomadas de decisão de reparo e demolição. Para tanto, as pesquisas empregam o método de elementos finitos (FEM) pra análise estrutural, técnicas de IA inerentes a ML e DL, a partir de modelos de CNNs/R-CNNs, Auto-ML, como *tree-based pipeline optimization tool* (TPOT); e abordagens relativas a *explainable AI* (XAI) e *shapley additive explanations* (SHAP) [33] e [34]. Por fim, no contexto da infraestrutura rodoviária, um único artigo aplica BIM com IA para explorar a otimização do alinhamento do traçado de rodovias. No contexto da IA, o estudo envolve o uso de algoritmos genéticos, como algoritmos de otimização e *particle swarm optimization* (PSO) para analisar e comparar inúmeras soluções distintas e definir o melhor corredor viário. As tecnologias integradas auxiliam engenheiros e projetistas a simplificar o processo de projeto, por meio da redução de erros, tempo de execução e, conseqüentemente, custo da obra [35]. Para além da área de infraestrutura de transporte, aplicações de BIM com IA no contexto do saneamento também foram identificadas, com ênfase em uma obra localizada (estação de tratamento de esgoto). A finalidade é integrar modelos com algoritmos de otimização, visando o melhor custo-benefício durante o corte de barras de aço e a minimização de desperdício de material na geração de planos de corte. Para tanto, os modelos BIM incluíram

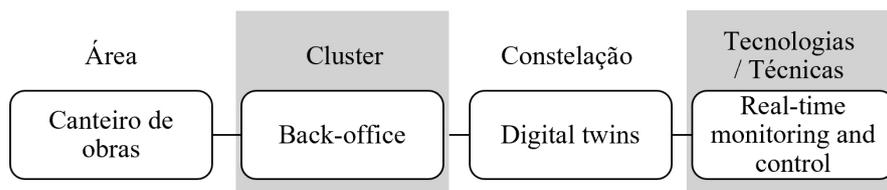
usos na detecção de conflitos e detalhamento com Revit e Navisworks, acrescidos do Matlab para a geração de planos de corte. O algoritmo de otimização utilizado é o *particle bee algorithm* (PBA), como apresentado na Figura 9 [36].

**Figura 9**  
Diagrama da área de aplicação (iv) Infraestrutura de saneamento.



Assim como na área de aplicação anterior, somente um artigo aplica BIM com IA em canteiro de obras, por meio da adoção de tecnologia de monitoramento e controle em tempo real *Ultra-Wideband* (UWB) (Figura 10) para localizar trabalhadores no canteiro de obras, além de compreender situações construtivas e fornecer suporte às tomadas de decisão de gerenciamento de projetos. Essa solução utiliza os dados adquiridos por sensores distribuídos em canteiro para criar regras e hipóteses sobre as atividades de construção exercidas [37].

**Figura 10**  
Diagrama da área de aplicação (v) Canteiro (estaleiro) de obras.



#### 4. Considerações finais

O cenário pós-pandemia, marcado pela aceleração da transformação digital, tem indicadores proeminentes das tecnologias que devem impactar a indústria AECO. O interesse exponencial pelo assunto e a gama de potenciais aplicações de BIM com IA nas diversas etapas do ciclo de vida de empreendimentos de infraestrutura e edificações destacam sua relevância e tendência de crescimento como campo a ser explorado. O presente artigo indica em sua análise bibliométrica aumento da produção científica em BIM/IA a partir de 2018 e liderança de EUA e China na disseminação do conhecimento. Os trabalhos, classificados em 8 áreas de aplicação, apontam para os modelos BIM como estrutura semântica de dados de empreendimentos e visualização 3D (VR/AR) para integrar-se a tecnologias e técnicas de *machine learning*, *deep learning*, *data mining*, *blockchain*, *IoT*, entre outras, visando a automação, análise e otimização de tarefas. Os artefatos abarcam desde modelos, métodos e instanciações empregadas no planejamento de atividades de projeto e construção, adaptação e otimização de layouts conforme requisitos, até a automação na detecção de danos em infraestruturas, simulações computacionais e monitoramento e controle de trabalhadores em canteiros de obras. Esta gama de aplicações ratifica a importância das constelações tecnológicas mapeadas na bibliometria – impressão 3D, modularização

e robótica; gêmeos digitais; e IA e *analytics*. Os resultados também sinalizam mudança cultural na maneira como os profissionais do setor AECO irão usufruir do poder computacional como coautor das tomadas de decisão, visando eficiência, sustentabilidade e inovação. Vislumbra-se, como trabalhos futuros, a ampliação para outras bases de dados a fim de aumentar o valor da amostra encontrada.

## Referências

- [1] J. L. Blanco, A. Mullin, K. Pandya, M. Parsons and M. J. Ribeirinho, "Seizing opportunity in today's construction technology ecosystem," in *McKinsey & Company Report*, 2018.
- [2] McKinsey & Company, "How COVID-19 has pushed companies over the technology tipping point and transformed business forever," in *McKinsey & Company Report*, 2020.
- [3] B. Succar and E. Poirier, "Lifecycle information transformation and exchange for delivering and managing digital and physical assets," in *Automation in Construction*, vol. 112, 2020, ISSN 0926-5805, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103090.
- [4] Y. Pan and L. Zhang, "Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions," in *Arch Computat Methods Eng* 30, pp. 1081-1110 (2023). doi: 10.1007/s11831-022-09830-8
- [5] F. Zhang, A. P.C. Chan, A. Darko, Z. Chen and D. Li, "Integrated applications of building information modeling and artificial intelligence techniques in the AEC/FM industry," in *Automation in Construction*, Vol 139, 2022, ISSN 0926-5805, doi: 10.1016/j.autcon.2022.104289.
- [6] B. Succar, N. Saleeb and W. Sher, "Model Uses: Foundations for a Modular Requirements Clarification Language", in *Australasian Universities Building Education (AUBEA2016)*, Cairns, Austrália, Julho 2016, pp. 1-10.
- [7] Autodesk, "How will AI revolutionize human innovation?," in *Autodesk Infographic*, 2023.
- [8] N. A. P. Vanti, "Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento," *Ciência da Informação*, vol. 31, n. 2, 2002. doi: 10.18225/ci.inf.v31i2.970.
- [9] M. Aria and C. Cuccurullo, "Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis," in *Journal of informetrics*, vol. 11, n. 4, pp. 959-975, 2017.
- [10] Y. Pan and L. Zhang, "Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends," in *Automation in Construction*, vol. 9, pp. 46391-46403, 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103517.

- [11] T. H. Lin, Y. H. Huang and A. Putranto, "Intelligent question and answer system for building information modeling and artificial intelligence of things based on the bidirectional encoder representations from transformers model," in *Automation in Construction*, v. 142, pp. 104483, 2022.
- [12] N. Wang, R. R. A. Issa and C. J. ANUMBA, "Query Answering System for Building Information Modeling Using BERT NN Algorithm and NLG," in *Computing in Civil Engineering*, 2021.
- [13] I. Ramaji, A. Anderson, S. Cates, J. Tetreault, A. Fleming, K. Pugsley and K. Mendela, "Application of Vision-Based Artificial Intelligence in Creating a Contactless Interaction with Immersive Environments," in *Computing in Civil Engineering 2021. Proceedings*. Reston: American Society of Civil Engineers, 2022. pp. 165-172. doi: 10.1061/9780784483893.165.
- [14] W. Li, P. Duan and J. Su, "The effectiveness of project management construction with data mining and blockchain consensus," in *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 1, no. 3, pp. 1-3, 2021, doi:10.1007/s12652-020-02668-7.
- [15] Y. Yu, D. Ha and K. Lee, "ArchShapesNet: a novel dataset for benchmarking architectural building information modeling element classification algorithms," in *Journal of Computational Design and Engineering*, v. 9, p. 1449-1466, 2022, doi: 10.1093/jcde/qwac064.
- [16] A. Nabavi, I. J. Ramaji, N. Sadeghi and A. Anderson, "Leveraging Natural Language Processing for Automated Information Inquiry from Building Information Models," in *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 28, pp. 266-286, 2023, ISSN 1874-4753, doi: 10.36680/j.itcon.2023.013.
- [17] M.-Y. Cheng and N.-W. Chang, "Dynamic construction material layout planning optimization model by integrating 4D BIM," in *Engineering with Computers*, vol. 35, pp. 703-720, 2019.
- [18] R. He, M. Li and V. J. L. Gan, "BIM-enabled computerized design and digital fabrication of industrialized buildings: A case study," in *Journal of Cleaner Production*, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123505.
- [19] E. Karan, S. Asgari, and A. Rashidi, "A Markov Decision Process Workflow for Automating Interior Design," in *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 25, no. 9, pp. 3199-3212, 2021, doi: 10.1007/s12205-021-1272-6.
- [20] K. M. Aljebory and M. Qaisissam, "Developing AI Based Scheme for Project Planning by Expert Merging Revit and Primavera Software," in 2019 16th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD'19), 2019, p. 412. doi: 10.1109/SSD.2019.8893274.

- [21] M. Y. Cheng, Y. C. Fang and C. Y. Wang, "Auto-tuning SOS algorithm for two-dimensional orthogonal cutting optimization," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 22, n. 10, pp. 3615-3623, 2018, doi: 10.1007/s12205-018-1935-6.
- [22] S. Erisen, "A Systematic Approach to Optimizing Energy-Efficient Automated Systems with Learning Models for Thermal Comfort Control in Indoor Spaces," in *IEEE Buildings*, vol. 13, pp. 1824, 2023, doi: 10.3390/buildings13071824.
- [23] Z. Chen, Z. Lai, C. Song and X. Zhang, "Smart camera placement for building surveillance using OpenBIM and an efficient bi-level optimization approach," in *Journal of Building Engineering*, vol.77, p. 107257, 2023.
- [24] J. Bielski, C. Langenhan, B. Wayand and M. Neuber, "Topological Queries and Analysis of School Buildings Based on Building Information Modeling (BIM) Using Parametric Design Tools and Visual Programming to Develop New Building Typologies," in *eCAADe – Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe Setembro 2020*, Berlim, Alemanha, doi: 10.52842/conf.ecaade.2020.2.279.
- [25] Y. Zhou, L. Wand, Y. Xu and L. Ding, "Intelligent Fangcang Shelter Hospital Systems for Major Public Health Emergencies," in *Journal of Management in Engineering*, vol. 38, no. 1, 2022, doi: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0001010.
- [26] S. Meschini, L. Pellegrini, M. Locatelli, D. Accardo, L.C. Tagliabue, and M. Di Giuda, "Development of a BIM-GIS asset management system for a diffused university," in *Journal of Building Engineering*, vol. 43, pp. 101-109, 2021.
- [27] C. Musella, M. Serra, C. Menna and D. Asprone, "Building information modeling and artificial intelligence for the digitalization of seismic damage in existing buildings," in *Structural Concrete*, vol. 22, pp. 2761-2774, 2021. doi: 10.1002/suco.202000029.
- [28] V. Croce, G. Caroti, A. Piemonte, L. D. Luca and P. Veron, "H-BIM and Artificial Intelligence: Classification of Architectural Heritage for Semi-Automatic Scan-to-BIM Reconstruction," in *Sensors*, vol. 23, pp. 2497, 2023, doi: 10.3390/s23052497.
- [29] H. Abdirad and P. Mathur, "Artificial intelligence for BIM content management and delivery: Case study of association rule mining for construction detailing," in *Advanced Engineering Informatics*, vol. 50, pp. 101414, 2021, doi: 10.1016/j.aei.2021.101414.
- [30] J. Sresakoolchai and S. Kaewunruen, "Integration of Building Information Modeling and Machine Learning for Railway Defect Localization," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 166045-166057, 2021, doi: 10.1109/access.2021.3135451.
- [31] F. Yan, J. Jia, Y. Hu, H. Guo and Z. Pan, "Smart fire evacuation service based on Internet of Things computing for Web3D," in *Journal of Industrial Technology*, vol. 20(2), pp. 521-532, 2019, doi: 10.1109/JIT.2019.8887049.

- [32] M-K. Kim, D. Park, S. Yun, W-H. Park, D. Lee, J-D. Chung and K-J. Chung, "Establishment of a Landscape Information Model (LIM) and AI Convergence Plan through the 3D Digital Transformation of Railway Surroundings," in *Drones*, vol. 7, no. 3, pp. 167, Feb. 2023. doi: 10.3390/drones7030167.
- [33] K. Jang, J-W. Kim, K-B. Ju and Y-K An, "Infrastructure BIM Platform for Lifecycle Management," in *Applied Sciences*, vol. 11, n. 21, pp. 10310, 2021, doi: 10.3390/app112110310.
- [34] P. Lin, M. Wu and L. Zhang, "Probabilistic safety risk assessment in large-diameter tunnel construction using an interactive and explainable tree-based pipeline optimization method," in *Applied Soft Computing*, vol. 143, pp. 110376, 2023.
- [35] N. Bongiorno, G. Bosurgi, O. Carbone and G. Sollazzo, "Potentialities of a Highway Alignment Optimization Method in an I-BIM Environment," in *Period. Polytech. Civ. Eng.*, vol. 63, no. 2, pp. 352-361, 2019.
- [36] L.-C. Lien and U. Dolgorsuren, "BIM-based steel reinforcing bar detail construction design and picking optimization," in *Structures*, vol. 49, pp. 520-536, Feb. 2023.
- [37] K. W. Johansen, R. Nielsen, C. Schultz and J. Teizer, "Automated activity and progress analysis based on non-monotonic reasoning of construction operations," in *Proceedings of the 35th CIB W78 2018 Conference: IT in Design, Construction, and Management*, pp. 463-474, 2018.

# Cálculo das necessidades de ventilação em Revit através de *scripts* em Dynamo

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.17>

José Cruz<sup>1</sup>, Hugo Silva<sup>1</sup>,  
Luís Ribeirinho<sup>1</sup>, Sofia Henriques<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TPF – Consultores de Engenharia e Arquitetura, S.A., Lisboa

## Resumo

A gestão de informação no desenvolvimento de projetos, particularmente em BIM, é uma área de grande importância, que responde aos desafios diários que se colocam na utilização eficiente da informação. A TPF – Consultores de Engenharia e Arquitetura, S.A., sendo uma empresa multidisciplinar, criou processos de centralização de informação nos modelos BIM das diferentes disciplinas, nomeadamente na disciplina AVAC. O processo aqui descrito é dedicado ao cálculo analítico das necessidades de ventilação em Edifícios. Anteriormente, estes cálculos apoiavam-se na transferência de dados entre vários ficheiros e programas. Atualmente, integra-se o meio analítico no seio dos modelos BIM produzidos em *Revit*. Através de vários *scripts* em *Dynamo*, criou-se um cálculo automático e progressivo das necessidades de ventilação, nomeadamente de hospitais. Os outputs intermédios e finais são incrementalmente gravados em parâmetros no modelo *Revit*. Cada passo intermédio permite uma análise crítica dos resultados, garantindo que estão em linha com critérios específicos do projeto. Estes *outputs* são utilizados não só para memórias de cálculo, mas também para outros fins, tais como: modelação e dimensionamento das redes de condutas com base nos caudais calculados e entrega de modelos IFC ao Cliente, organizados de acordo com as diferentes rúbricas dos Mapas de Quantidades. Ao nível da coordenação com as restantes especialidades, os modelos *Revit* de AVAC são alimentados com a informação necessária às outras especialidades, permitindo assim que esta seja consultada pela restante equipa através dos *links* dos modelos.

## 1. Introdução

Nos últimos anos a TPF – Consultores de Engenharia e Arquitetura, S.A. generalizou a utilização da metodologia BIM nos seus projetos. A equipa de AVAC, seguindo o exemplo de outras equipas dentro da empresa, identificou um conjunto de melhorias que poderiam ser implementadas no seu fluxo de trabalho. No presente artigo descrevem-se as ferramentas que foram elaboradas para otimizar os processos no desenvolvimento e coordenação dos projetos de AVAC.

## 2. Fluxo tradicional no cálculo de ventilação

A qualidade do ar interior (QAI) nos edifícios está diretamente relacionada com o bem-estar, o conforto e saúde dos seus ocupantes. A ventilação tem um papel fundamental no controlo da qualidade do ar interior, uma vez que promove a circulação de ar novo nos espaços fechados, permitindo a diluição dos poluentes gerados no interior do edifício e o controlo de odores. Adicionalmente, a ventilação tem um papel importante no controlo da temperatura e da humidade dos espaços. De uma forma geral, uma ventilação adequada aumenta a saúde e o conforto dos ocupantes e reduz a possibilidade de dores de cabeça, fadiga, alergias e problemas respiratórios causados pela má qualidade do ar interior.

A renovação dos espaços está regulada por regulamentos e normas nacionais e internacionais. Em Portugal, é o Decreto-Lei n.º 101-D/2020 [1] que define os critérios mínimos de ventilação. Internacionalmente é utilizado como referências standard 62.1 da ASHRAE [2].

Independentemente do regulamento utilizado, temos sempre dois requisitos de ventilação: o caudal mínimo de ar novo e o caudal mínimo extração.

Na maior parte dos espaços, a ventilação é determinada pelo caudal mínimo de ar novo, mas em espaços com elevada produção de poluentes, como instalações sanitárias e cozinhas, a ventilação é determinada pelo caudal mínimo de extração.

O caudal de ar novo é definido por três critérios: um critério em função do número de ocupantes, outro em função da área de pavimento e outro em função do volume do espaço. O ar novo mínimo de um espaço obtém-se pelo máximo destes três critérios. Estes critérios variam em função do tipo de espaço. Assim, para calcular o ar novo mínimo de um espaço, é necessário saber qual o tipo de espaço, a ocupação, a área e o volume.

O caudal de extração, calcula-se de uma forma semelhante ao do ar novo. Note-se apenas que no cálculo do caudal de extração de alguns espaços, a ocupação é inferida diretamente pelo número de aparelhos sanitários, como sanitas, urinóis ou duchas.

Tradicionalmente os engenheiros de AVAC recorriam a folhas de cálculo onde listavam todos os espaços de um edifício e iam preenchendo manualmente ou semi-manualmente os dados necessários (número do espaço, nome, tipo de espaço, área, volume, nº ocupantes, nº urinóis/sanitas, nº duches). Em função destes dados, consultando as tabelas dos regulamentos, preenchia-se para cada tipo de espaço os requisitos mínimos de ar novo e de extração por ocupante, por área e por volume e calculavam-se os caudais de cada espaço. Estas folhas eram então partilhadas com os desenhadores ou modeladores que as consultavam para desenvolver as redes de ar.

### 3. Cálculo de necessidades de ventilação no *Revit*

Com o objetivo de melhorar a eficiência do processo de cálculo das necessidades de ventilação e evitar desperdício de informação redundante, procurou-se centralizar toda a informação no modelo BIM. Nesse sentido, a informação já disponível no modelo BIM, em vez de ir alimentar um ficheiro de *Excel*, passou a permanecer no modelo e todo o cálculo passou a ser feito através de vários *scripts* em *Dynamo*, incrementando a informação dentro do modelo.

Note-se que a metodologia definida de seguida tem as suas limitações. Primeiro, não está totalmente automatizada, sendo necessária a utilização de vários *scripts* diferentes para chegar ao cálculo final.

Segundo, existe uma limitação do tipo de utilizador. Sendo uma ferramenta de cálculo, foi concebida para ser utilizada por um Engenheiro de AVAC e não por um modelador.

Por fim, esta ferramenta foi preparada para o cálculo de ventilação de acordo com o método prescritivo definido no Decreto-Lei n.º 101-D/2020. Em casos particulares, como por exemplo um auditório ou uma sala de cinema, em que temos taxas de ocupação muito variáveis, pode-se utilizar um método analítico em que o cálculo é feito tendo em conta a evolução temporal da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) previsível no espaço, em função do respetivo perfil de ocupação, perfil de ventilação e das características físicas dos ocupantes. Como este método é utilizado esporadicamente optou-se por não o incluir nos *scripts* desenvolvidos.

#### 3.1. Caracterização dos espaços por tipo

Tal com já acontecia no fluxo tradicional para cálculo das necessidades de ventilação, é necessário caracterizar cada *space* do modelo *Revit* pelo tipo de atividade, de acordo com os critérios de ventilação definidos previamente num ficheiro de *Excel*.

Este procedimento tende a ser moroso, pois requer uma análise crítica na atribuição ao tipo de atividade a cada compartimento. No entanto, considerando que esta atribuição está na maioria associada ao nome de cada compartimento, foram criados *scripts* em *Dynamo*, para auxiliar o projetista a atribuir o tipo de atividade a vários *spaces* em simultâneo, no parâmetro correspondente.

Estes *scripts* permitem ao utilizador procurar várias palavras-chave num determinado parâmetro dos *spaces* (definido pelo utilizador) e atribuir o tipo de atividade de ventilação a todos os *spaces* que cumpram a condição dos *inputs* definidos. Portanto, estes *scripts* são ferramentas que servem para introduzir informação em bloco e de forma incremental, à medida que o utilizador vai alterando os diferentes *inputs* a serem executados pelo *script*.

Estas ferramentas têm especial relevância para projetos de grande dimensão, com layouts e utilizações mais heterogéneos, como é o caso de projetos de hospitais em que a TPF Consultores está envolvida, cujo número de compartimentos, por vezes, ultrapassou as 1000 unidades.

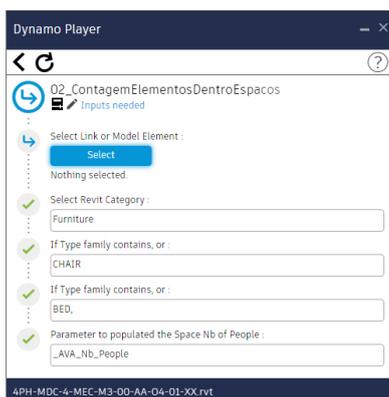
### 3.2. Cálculo da ocupação dos espaços

O cálculo da ocupação de cada espaço é habitualmente feito através da consulta das plantas de arquitetura, em especial das plantas de mobiliário que permitem perceber o número de pessoas previstas para os compartimentos. Por exemplo, num escritório a ocupação é obtida pelo número de postos de trabalho e nos quartos pelo número de camas. Por norma, este é um processo manual e moroso.

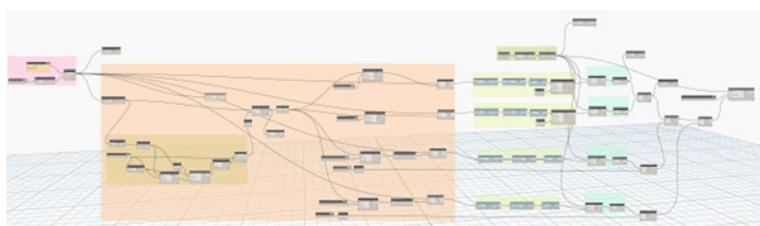
Estando o mobiliário no modelo BIM, à partida, seria simples com recurso a tabelas, fazer esta contagem. No entanto, há vários desafios a esta automatização. Primeiro, o tipo de mobiliário que define a ocupação num tipo espaço não é o mesmo que define a ocupação noutra tipo espaço. Segundo, existem peças de mobiliário que representam uma ocupação superior a 1, como é o caso, bancos de salas de espera com vários assentos.

A fim de acelerar este processo, foi preparado o *script* em *Dynamo*, conforme se ilustra nas Figuras 1 e 2, que lê o *link* do modelo do mobiliário e soma o mobiliário de acordo com os *inputs* dados pelo utilizador. Este *script* prevê que seja contabilizado um efetivo superior a 1, para peças de mobiliário que correspondam à utilização de várias pessoas em simultâneo. Assim, é possível personalizar uma série de condições para somar o efetivo através do mobiliário e introduzir a ocupação total no espaço correspondente no respetivo parâmetro.

O *script* foi preparado de uma forma que permite não só contabilizar a ocupação, mas também o número de aparelho sanitários, que são essenciais para o cálculo do caudal mínimo de extração das instalações sanitárias e balneários.



**Figura 1**  
Script de cálculo da ocupação – painel de interface com o utilizador.

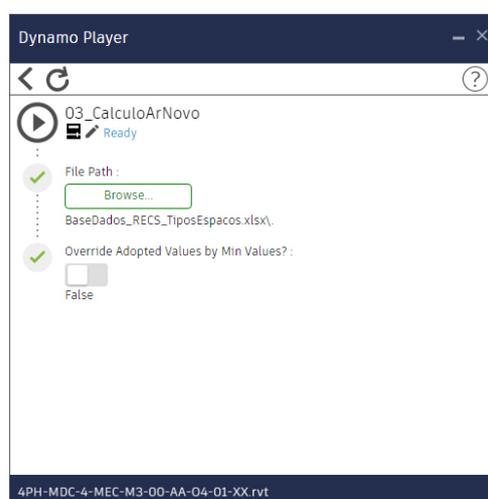


**Figura 2**  
Script de cálculo da ocupação – vista geral do código.

### 3.3. Cálculo do Ar Novo

Ao contrário dos *scripts* explicados nos subcapítulos anteriores, que se destinavam a acelerar um processo moroso de levantamento de informação, o *script* criado para o cálculo do ar novo visou a substituição de folhas de cálculo e a centralização da informação no modelo BIM.

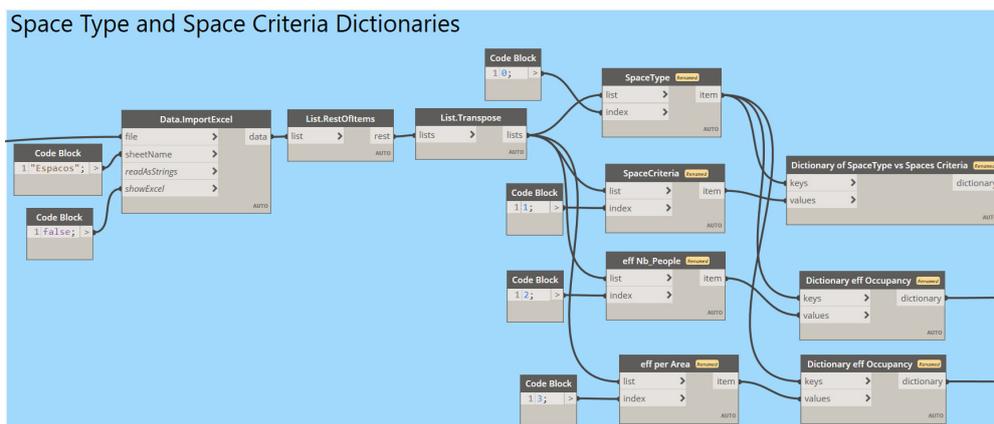
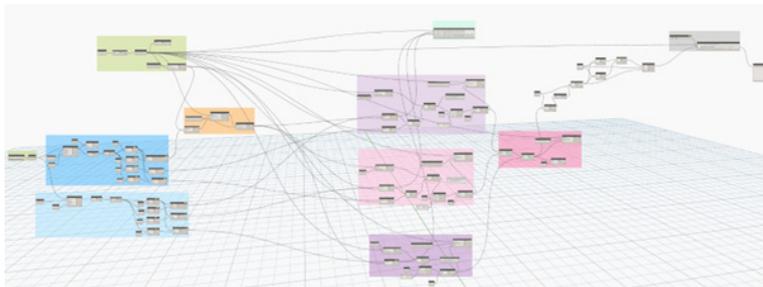
Como referido no capítulo 2, o caudal mínimo de ar novo é definido em função do tipo de espaço, da ocupação, da área e do volume. O *script* foi desenhado de forma a ler uma base de dados em *Excel* onde estão definidos os critérios de ventilação em função do tipo espaço (Figuras 3, 4 e 5).



**Figura 3**  
Script de cálculo de ar novo – painel de interface com o utilizador.

**Figura 4**

Script de cálculo de ar novo – vista geral do código.

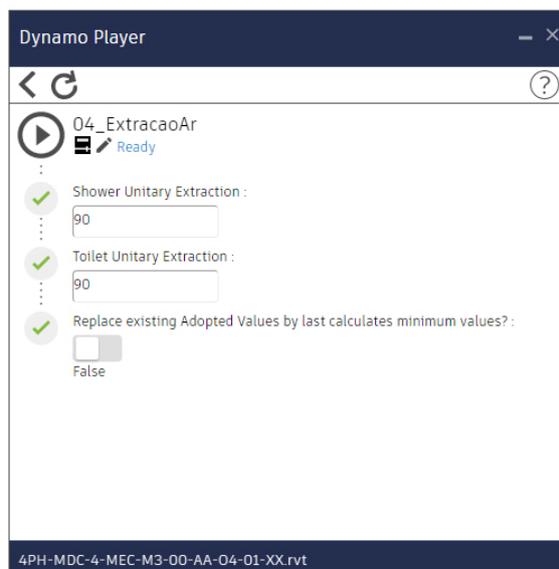


Para cada um dos três critérios, ocupação, área e volume, é calculado o valor de ar mínimo correspondente. O máximo destes três valores define o caudal de ar novo mínimo. Para evitar ter quantidades muito baixas de ar nos espaços, foi ainda definido um valor mínimo por espaço.

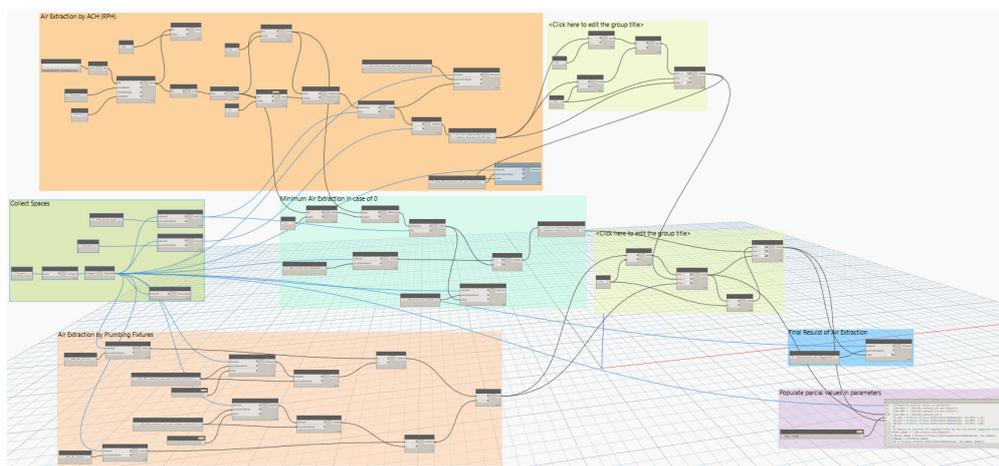
Por uma questão de verificação, optou-se por registar os valores intermédios do cálculo em parâmetros associados aos espaços.

### 3.4. Cálculo do caudal de extração

O *script* do cálculo do caudal de extração tem uma estrutura muito semelhante ao *script* do cálculo do ar novo. É lida uma base de dados onde estão definidos os critérios de ventilação para cada tipo de espaço. Neste caso, a extração mínima é definida em função do número de aparelhos sanitários ou, caso não existam, em função do volume do espaço.



**Figura 6**  
Script de cálculo do caudal de extração – painel de interface com o utilizador.



**Figura 7**  
Script de cálculo do caudal de extração – vista geral do código.

Nos espaços sem requisitos de extração, o valor do caudal de extração é definido em função do caudal de ar novo. Se o espaço tiver de estar pressurizado, o caudal de extração será inferior ao de ar novo. Caso o espaço tenha de estar em depressão, o caudal de extração será superior ao caudal de ar novo calculado no *script* anterior. Estas diferenças são definidas por um parâmetro de pressão que é lido na base de dados em *Excel*.

#### 4. Coordenação e controlo de qualidade da modelação

A nível de coordenação com outras especialidades, a TPF Consultores procurou centralizar a troca de informação nos modelos BIM, nomeadamente a partir de vistas partilhadas dentro dos modelos que as outras especialidades podem consultar diretamente em ambiente BIM. Para além disso, foram criados parâmetros partilhados que permitem a troca de informação dos equipamentos modelados.

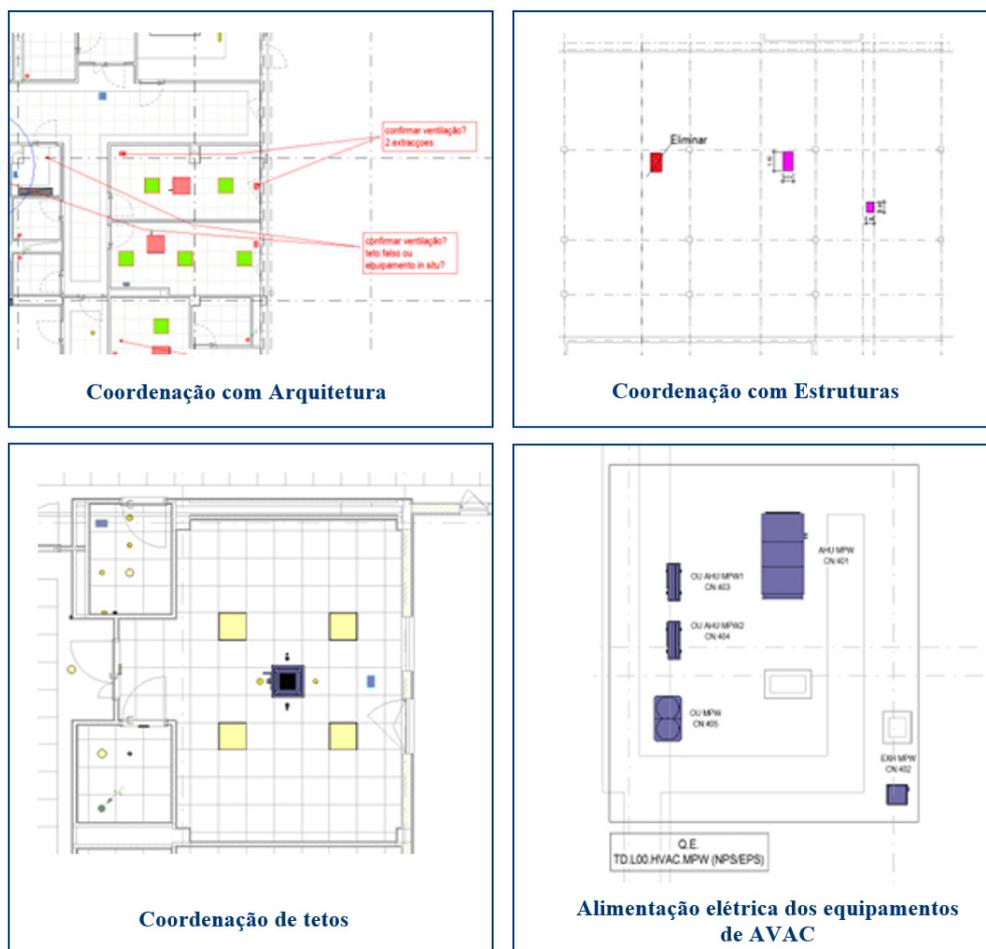
No que respeita ao controlo da qualidade de modelação, foram criados filtros dentro do modelo para uma fácil verificação dos elementos modelados por parte do projetista.

#### 4.1. Melhoria 1 – Vistas partilhadas entre especialidades

Foram criadas várias vistas partilhadas (Figura 8), onde é trocada a informação entre as várias especialidades:

- Coordenação com arquitetura: vista partilhada entre Arquitetura e o AVAC onde é trocada informação entre as duas especialidades.
- Coordenação com Estrutura: vista partilhada entre Estrutura e o AVAC onde é trocada informação relativa aos negativos necessários nos elementos estruturais.
- Coordenação de tetos: vista partilhada entre Arquitetura, AVAC, Iluminação, Comunicações e Segurança ativa que permite a integração das várias especialidades na estereotomia dos tetos.
- Alimentação elétrica dos equipamentos de AVAC: foram criadas vistas onde são partilhados os equipamentos que necessitam de alimentação elétrica.

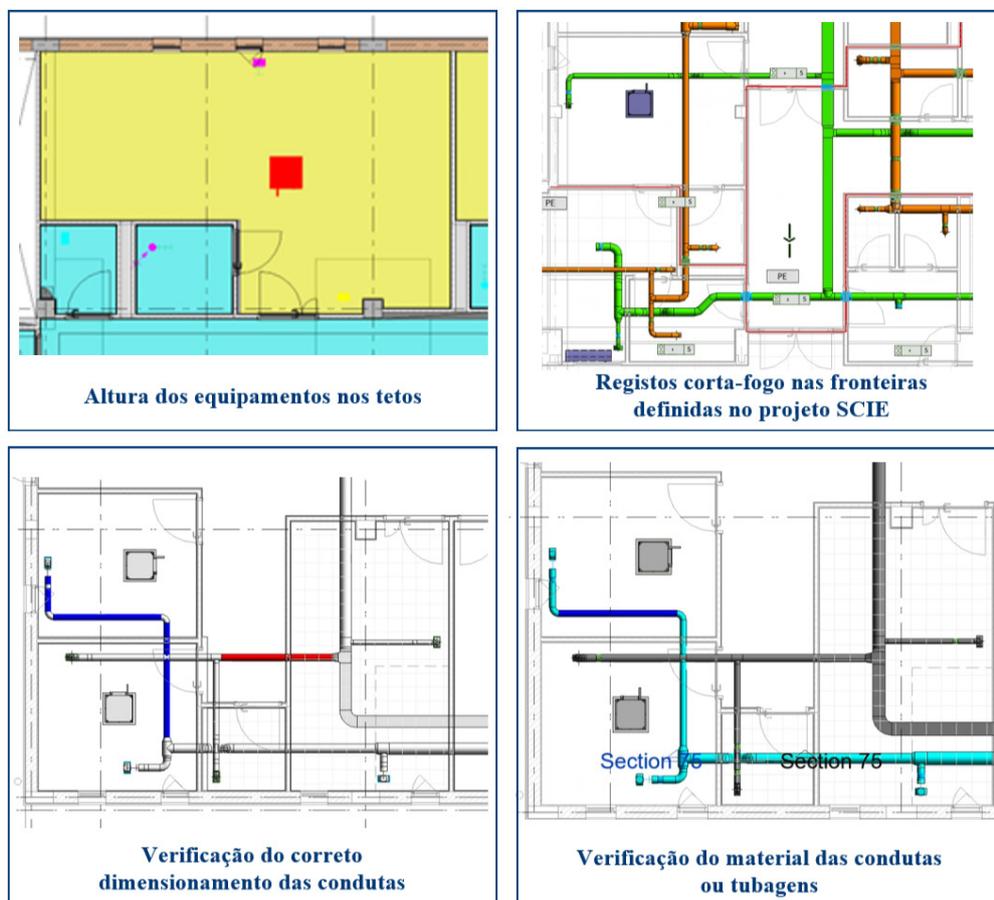
**Figura 8**  
Exemplo de vistas partilhadas entre especialidades.



## 4.2. Melhoria 2 – Vistas de verificação da qualidade de modelação

Tal como se exemplifica na Figura 9, foram criadas várias vistas para fazer a verificação visual da qualidade de modelação:

- Altura dos equipamentos nos tetos: foram criadas vistas com filtros coloridos em que cada cor corresponde a uma altura para facilmente se verificar se os equipamentos de AVAC nos tetos estão à cota certa;
- Verificação do correto dimensionamento das condutas ou tubagens: foram criadas vistas com filtros coloridos em que as condutas ficam azuis quando o caudal é nulo e ficam a vermelho sempre que a conduta está mal dimensionada (critério em função da velocidade de perda de carga);
- Verificação do material das condutas ou tubagens: foram criadas vistas com filtros coloridos em que as condutas ficam com cores diferentes consoante o material utilizado, permitindo detetar erros na atribuição do material aquando da modelação;
- Registos corta-fogo nas fronteiras definidas no projeto SCIE: foram criadas vistas em que as paredes corta-fogo, modeladas no projeto SCIE, são assinaladas a vermelho de modo a facilitar a colocação de registo corta-fogo e a otimização da rede de condutas.



**Figura 9**  
Exemplo de vistas de verificação da qualidade de modelação.

## 6. Perspetivas futuras

Pretende-se continuar a integração dos cálculos no *Revit* e a criar mais automatismos no processo de modelação.

Está a ser planeado criar um *script* que centre automaticamente os equipamentos nas quadrículas dos tetos, tornando automático um processo de ajuste que atualmente é manual e tem de ser feito sala a sala, equipamento a equipamento.

Outro automatismo que se pretende criar, é a introdução de registos corta-fogo nas redes de condutas sempre que estas cruzem uma fronteira corta-fogo.

## 5. Conclusões

A equipa de AVAC da TPF Consultores, nos últimos anos aumentou significativamente a sua maturidade BIM, tendo vindo a evoluir consistentemente, criando ferramentas que facilitam o desenvolvimento do projeto e a coordenação com as restantes especialidades.

A possibilidade de incorporar o cálculo e a modelação no mesmo software simplificou os processos, reduziu os erros de projeto e facilitou a troca de informação dentro da equipa. Para além disso, como os espaços são definidos no modelo e estão conectados ao modelo de arquitetura, as revisões de *layout* são mais facilmente integradas no projeto, uma vez que basta voltar a correr os *scripts* para ajustar os valores.

Adicionalmente, foi introduzida a cultura de partilhar e verificar a informação através de vistas criadas especificamente para o efeito. A tradução da informação contida no modelo em códigos de cores permitiu facilitar o processo de verificação da qualidade da modelação, que por vezes era moroso e complexo.

Tal só é possível porque toda a equipa trabalha exclusivamente em BIM.

## Referências

- [1] Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro – Estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios
- [2] ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022, Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality

# Eficiência e precisão: Ferramentas de automação

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.18>

Tiago Campelo<sup>1</sup>, Joel Ribeiro<sup>1</sup>,  
Fernando Miranda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *A400 Consultores e Projetistas de Engenharia, Porto*

## Resumo

A compreensão da metodologia BIM tem sido impactante em diversas áreas, especialmente a nível de projeto. Na A400, verifica-se que esta adesão crescente tem conduzido à imposição de padrões de qualidade mais elevados e a um maior fluxo de informações entre todos os intervenientes, o que, aguça a ambição de melhorar o processo produtivo, visando aprimorar a eficiência e a eficácia dos processos internos. Neste contexto, a automatização em BIM tem impulsionado os processos envolvidos oferecendo uma multitude de vantagens que inegavelmente transformam o processo de produção de projetos, ao melhorar a precisão, coerência, agilizar interações entre equipas, transmissão de informação entre softwares de cálculo e economizar tempo e custos. Este artigo tem como objetivo expor em detalhe os últimos desenvolvimentos e implementação de ferramentas, destacando-se:

- **RevitWaterPipes:** Dimensionamento automático de redes de abastecimento, drenagem ou retorno, respeitando as normas portuguesas e exportação de notas de cálculo.
- **ClashMaster:** Programa que, com base numa calendarização dos projetos, permite a deteção de colisões através das matrizes estabelecidas e da atualização sistemática do modelo federado, permitindo a organização final automática das colisões.
- **Holes:** Ferramenta de coordenação que automatiza a criação de negativos/courettes para coordenação a partir das tubagens/conduitas/esteiras carregados no modelo federado. No final, permite à especialidade de estruturas

a modelação automática dos negativos coordenados com base no modelo federado.

- **MTQGenerator:** Automatismo de organização e exportação de mapas de trabalhos e quantidades diretamente da ferramenta de modelação, permitindo a definição de regras de medição por especialidade com recurso a filtros pré-configurados.

## 1. Introdução

No atual contexto de projeto, abrangendo várias disciplinas da engenharia, observa-se um incremento substancial na organização e quantidade de informações associadas aos modelos produzidos, o que proporciona oportunidades para explorar e utilizar eficientemente essas informações. Neste contexto, a A400 tem apostado na busca incessante de soluções que permitam otimizar a gestão e utilização desses modelos em benefício do próprio projeto e da sua produtividade.

É inegável que a verdadeira mais-valia das empresas reside na competência técnica do seu corpo profissional, capacitado para enfrentar os desafios complexos presentes nos diversos projetos em que se envolvem. No entanto, essa capacidade técnica atinge seu potencial máximo quando o foco desses profissionais é direcionado integralmente para a resolução de problemas complexos, desviando-se de tarefas secundárias que, por vezes, consistem em replicar informações entre diferentes peças de projeto. Este é o principal objetivo do desenvolvimento das ferramentas internas aqui apresentadas, concebidas para oferecer suporte crucial em áreas específicas do projeto, nomeadamente no cálculo hidráulico, na medição de trabalhos e quantidades, e na coordenação de especialidades. Estas ferramentas surgem como resposta à necessidade de maximizar a eficiência operacional da A400, garantindo que o talento técnico das equipas seja dedicado integralmente à resolução de desafios complexos.

## 2. MTQ generator

Numa anterior edição do PTBIM (2020), apresentou-se o *MTQ Generator*, uma aplicação destinada a gerar e gerir Mapas de Trabalhos e Quantidades, bem como Estimativas Orçamentais, provenientes de softwares BIM e outras fontes. Programada em linguagem Visual Basic, era dotada de uma versatilidade que permitia que as origens desses dados fossem obtidas a partir de informações exportadas de softwares BIM ou do preenchimento de datasheets de Excel previamente configuradas. A sua versatilidade permitia não unicamente a criação, mas também a revisão dessas estimativas e mapas, registando eventuais alterações existentes e a criação de novos itens.

A primeira edição, beta, consistia no mapeamento entre os vários *schedules* pré-estabelecidos de informação dos objetos e um MTQ Base (ficheiro excel) através de uma *Keywords* ou um conjunto de *Keywords* equivalentes. Este modo de operação obrigava a uma gestão duplicada de *Keywords*, quer no ficheiro MTQ Base, quer na criação automática das *Keywords* em todos os *Schedules* pré-configurados para utilizar nos modelos BIM.

A versão inicial da ferramenta enfrentava desafios na automatização dos Mapas de Trabalhos e Quantidades (MTQ) devido à possibilidade de erros na correspondência de *Keywords*, levando a alocações incorretas ou à não quantificação de objetos. A versão beta oferecia relatórios de erros, mas não permitia identificar explicitamente os objetos não medidos.

Adicionalmente, a ferramenta de modelação (Revit) apresenta limitações, como dificuldades na medição de alguns parâmetros nativos, gestão complexa de *Schedules* e na distinção de elementos de modelação por camadas que muitas vezes levava à duplicação de quantidades.

Estas condicionantes colocavam constantemente a empresa entre o binómio de preparar os modelos para o potencial de extração automático e a contínua evolução/ produtividade do desenvolvimento dos modelos.

Naturalmente que a implementação da ferramenta transversalmente às várias especialidades obrigou, desde a fase inicial, a uma mudança na abordagem para uma modelação orientada para a extração de mapas de quantidades e à revisão da respetiva organização da informação nos objetos. Os objetos passam assim, além de requisitos iniciais de *Level of Information Need*, a ter uma exigência adicional interna ao nível da sua geometria, mas também relativamente aos seus atributos customizados. Esta reorganização, com a introdução da ferramenta no processo produtivo, mostrou ser vantajoso na medida em que foram reduzidos alguns erros de medição. Esta automatização, de um processo já semi-manual, traduziu-se igualmente na redução em cerca de 1/3 do tempo médio gasto na tarefa, permitindo transferir esse tempo ganho para os processos de medição de pormenores externos à ferramenta de modelação e para o controlo da qualidade da tarefa.

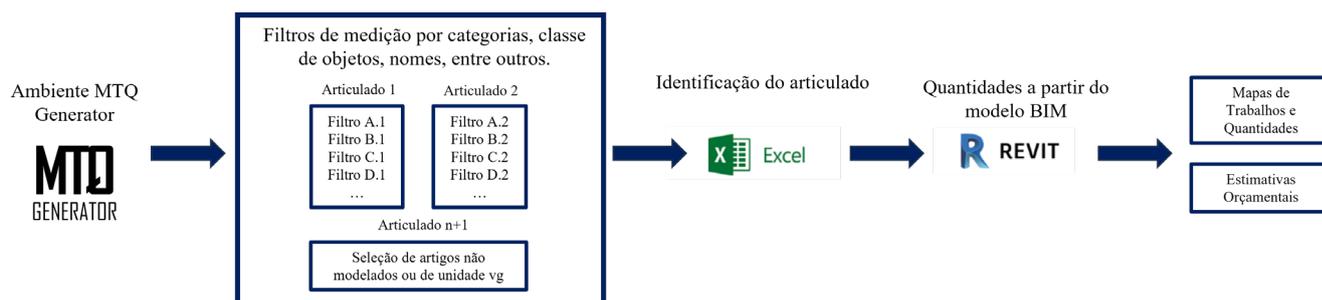
Diante do cenário apresentado, e considerando a vantagem da ferramenta evidenciada anteriormente, tornou-se imperativo promover o desenvolvimento desta para uma fase subsequente, na qual pudesse mitigar as principais fragilidades inerentes à sua versão inaugural. Além disso, almejava-se enriquecê-la com ferramentas suplementares na validação da qualidade do processo, ao mesmo tempo em que se procurava otimizar a sua eficiência na produção de um Mapa de Trabalho e Quantidades (MTQ), quando comparada com a versão beta.

Neste momento, após testes bem-sucedidos, encontra-se concluída a reconstrução da aplicação, agora aprimorada e reformulada utilizando a linguagem de programação C# e a API .NET do Autodesk Revit. Esta transição não implica apenas uma migração tecnológica, mas uma renovação substancial, especialmente na reprogramação do seu funcionamento.

O funcionamento da versão de lançamento era altamente dependente da organização dos *Schedules*, uma vez que estes eram exportados para formato excel e posteriormente elaborado um mapeamento entre as *Keywords* do ficheiro exportado e um MTQ Base que mantinha a relação entre *Keywords* e itens do MTQ. Adicionalmente no processo era o utilizador que tinha entre tarefas, selecionar os vários ficheiros a comparar e controlava todas as etapas intermédias até à criação do output final.

Com a reestruturação do *MTQ Generator*, o processo de construção tornou-se inteiramente automatizado, desde a ordem de medição na ferramenta até à obtenção do resultado final. Através da utilização da API do software, foi eliminada a dependência dos *Schedules* pré-configurados nos modelos, permitindo que o programa filtre ob-

jetos e informações diretamente na ferramenta. Esta constitui uma das mais-valias resultantes da reformulação da ferramenta, uma vez que a dependência dos *Schedules* foi desvinculada. Desta forma, a ferramenta é capaz de medir qualquer projeto, mesmo que não possua quaisquer tipos de tabelas de apoio à medição, possibilitando a criação de um número ilimitado de regras de filtragem. A interligação com os elementos presentes no mapa de trabalhos e quantidades é estabelecida diretamente na ferramenta. Na Figura 1 encontra-se resumida de forma esquemática o funcionamento da ferramenta *MTQ Generator*.



O procedimento funcional reside na definição de regras de filtragem para as quantidades a serem contabilizadas em cada item do Mapa de Trabalho e Quantidades (MTQ). Este foi o objetivo primordial e desafiador para a ferramenta, ser o suficientemente versátil que permitisse filtrar as quantidades dos objetos por qualquer parâmetro existente no modelo, permitindo que fosse a ferramenta a adaptar-se a qualquer processo de medição e não o oposto, seja ele através de sistemas de classificação de informação, classe de objetos, nomes de objetos ou outros.

Contudo, os descritivos dos próprios itens são distintos entre projetos e estão sujeitos a inúmeras variáveis, como a indicação dos materiais que compõem o item, o tipo de acabamento, entre outros. Face a este desafio, dado que nos encontramos a utilizar a API do software, optou-se por estabelecer que os descritivos dos itens seriam o mais padronizados possível, ao passo que os campos variáveis dependeriam de um parâmetro dos objetos dos modelos, ficando assim o descritivo dos itens devidamente preenchidos e coerentes com o projeto.

A título de exemplo, para a medição específica de betão armado em sapatas de fundação são 3 os campos que são necessários para o preenchimento do descritivo e que são obtidos em diferentes parâmetros do modelo, ver Figura 2 e a Tabela 1. As palavras assinaladas a azul estão colocadas e sinalizadas internamente num MTQ Referencial (folha de excel que serve de referência para a montagem do MTQ final), apenas para auxílio na montagem dos filtros na ferramenta *MTQ Generator*, com o intuito de se ter uma imagem mais familiar para não programadores.

**Figura 1**  
Estrutura do Aplicativo  
*MTQ Generator*  
reformulado.

**Figura 2**

Exemplo de descritivo Standard para utilização no *MTQ Generator*.

1.1	<b>Betão Armado em Sapatas de Fundação</b>		
	Fornecimento e colocação de betão armado, na execução de sapatas de fundação, incluindo betão		
	<Structural Material> <Classe Exposição>, armaduras <ObjectStyles\Material>, aditivo hidrofugo certificado, cofragem e descofragem conforme peças desenhadas e as Condições Técnicas Gerais.		
1.1.1		Betão	m3
1.1.2		Cofragem	m2
1.1.3		Armaduras	kg

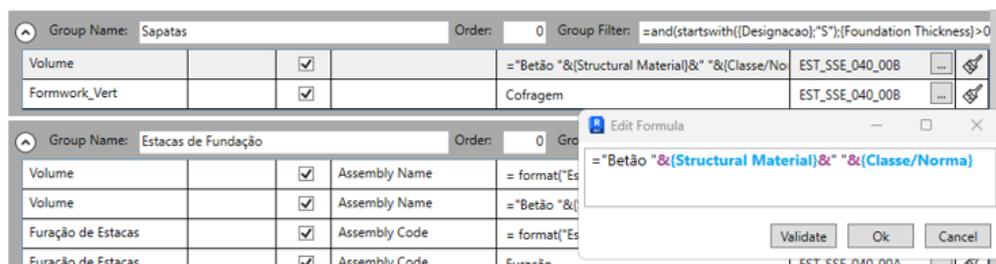
Tabela 1: Descrição dos parâmetros

Descrição dos parâmetros	
Structural Material	Parâmetro nativo do software que indica a classe estrutural do betão e é recolhido em cada elemento estrutural. Na eventualidade de se detetar uma classe diferente das restantes, é automaticamente duplicado o filtro e o item no documento final de MTQ.
Classe de Exposição	Parâmetro Global ( <i>Global Parameter</i> ) customizado para a indicação da classe de exposição. Parâmetro global a todos os objetos.
ObjectStyles\Material	Campo de material existente nos <i>Object Styles</i> , transversal a todos os elementos da mesma classe.

A maioria dos parâmetros essenciais para o funcionamento completo da ferramenta já se encontrava disponível e devidamente preenchida em todos os projetos da A400, tornando lógico explorar esta informação já existente nos modelos e definir os restantes parâmetros necessários para capacitar a utilização plena da ferramenta. Na Figura 3 é possível ver a construção do filtro do exemplo acima mencionado na ferramenta *MTQ Generator*.

**Figura 3**

Exemplo do filtro com descritivo para utilização no *MTQ Generator*.



Outra complexidade estava associada à restrição do software em gerar tabelas de *Detail Items* que incorporassem a representação de parâmetros geométricos, como por exemplo a área desses objetos. Esta limitação foi prontamente superada mediante a alteração da linguagem de programação da ferramenta.

No entanto residia uma outra questão transversal a todas as especialidades da empresa, que se traduz na dificuldade de automatizar a quantificação de trabalhos não modelados, ou, com unidade de medição *Valor Global* (vg). Determinadas quantidades, tais como tratamentos de superfícies, cofragens ou proteções, muitas vezes não são

sujeitas a modelação. Todavia, apesar de não estarem fisicamente representadas no modelo, as quantidades associadas a estes trabalhos/quantidades estão diretamente relacionadas com a geometria de um objeto hospedeiro, como é o caso das pinturas em tetos falsos ou da proteção betuminosa das fundações que se relacionam com a área destes elementos. Embora a ferramenta possa extrair facilmente algumas destas quantidades, persiste um conjunto de outras que permanecem desafiantes de automatizar.

Apesar das várias alternativas propostas para a resolução da questão, como a descrição destes trabalhos num *Global* ou *Project Parameter*, ou, alternativamente, a modelação de um objeto genérico com associação a esse trabalho para extração automática, concluiu-se que essas abordagens não seriam as mais apropriadas. A primeira proposta obrigaria a uma presença extensiva de um conjunto de parâmetros personalizados para preenchimento desta informação, a segunda implicaria a criação de um objeto inexistente no projeto, bem como o preenchimento constante da informação desse objeto entre projetos.

A resolução deste problema foi alcançada através da integração do MTQ Referencial com a ferramenta. No MTQ Referencial, foram catalogados todos os itens não modelados ou de unidade vg, sendo identificados de forma distinta dos restantes itens. Essa abordagem permite, através da ferramenta *MTQ Generator*, o acesso direto à lista de itens desse tipo, possibilitando a seleção da *checkbox* dos itens desejados para inclusão específica no projeto. Subsequentemente, esses itens são exportados para o MTQ final, juntamente com os demais itens medidos no modelo, sem a necessidade de intervenção manual adicional no documento.

1.1.3	Tubagem em PP-R, da classe de pressão PN10 e PN20
1.1.3.1	Fornecimento e assentamento de tubagem e respectivos acessórios (incluindo curvas, tês, reduções e todos os elementos para o seu perfeito funcionamento) em polipropileno reticulado PP-R, da classe de pressão PN10 e PN20, ligação entre o tubo e acessórios através de soldadura por fusão, instalada á vista e/ou em roços nas paredes, incluindo abertura e tapamento de roços (se necessário), suspensa no tecto ou paredes com braçadeiras, respectivas ligações e juntas, nos seguintes diâmetros:
<input type="checkbox"/>	Inclui-se neste trabalho:
<input checked="" type="checkbox"/>	1) Fixação das tubagens por braçadeiras.
<input checked="" type="checkbox"/>	2) Nos atravessamentos de paredes, tectos ou pavimentos as tubagens serão envolvidas por mangas metálicas de protecção de chapa zincada ou bainhas de PVC que permitam a sua livre dilatação. O espaço vazio entre as tubagens e as mangas deverá encher-se com material isolante, por exemplo, uma espuma de poros fechados.
<input checked="" type="checkbox"/>	3) Juntas de dilatação e/ou dispositivo compensadores de dilatação nos traços e locais prescritos das Clausulas Técnicas Especiais (CTEs).

**Figura 4**  
Check Box para elementos de unidade vg a incluir ou notas relativas ao item do MTQ.

Após a estruturação da arquitetura funcional da ferramenta, restava incorporar-lhe outras ferramentas essenciais de apoio à validação e controlo de qualidade das

quantidades medidas, revisão do MTQ e comparação entre versões. Isso inclui também a correlação dos itens com os preços, visando a elaboração da estimativa orçamental.

Com a ferramenta implementada, continua a ser desafiante algumas características no desenvolvimento dos modelos como a ausência de preenchimento de alguns parâmetros, a evolução constante do trabalho ou as características singulares dos projetos incorporam novos elementos, objetos, formas de representação, entre outros, que não foram previamente testados na ferramenta. Estes elementos podem, eventualmente, ser inadvertidamente ignorados pela ferramenta, tornando desafiante para o utilizador identificar prontamente objetos não quantificados. Com o intuito de abordar esta questão, terminado cada processo de quantificação de trabalhos e quantidades, a ferramenta regista, num parâmetro personalizado de cada objeto, o(s) item(ns) nos quais esse objeto foi quantificado. Isso possibilita a deteção de elementos não quantificados através da utilização de *Schedules* ou vistas com filtros aplicados. A própria ferramenta permite, durante a pré-visualização do MTQ do projeto antes da exportação, através da seleção de um articulado sinalizar os objetos do modelo que contribuíram para aquelas quantidades.

### 3. *Revit water pipes*

O dimensionamento dos distintos elementos que compõe uma rede de instalações hidráulicas figura como um componente essencial no desenvolvimento do processo de projeto de redes de instalações hidráulicas. A automatização deste procedimento, visando mitigar a probabilidade de ocorrência de erros, configura-se como um passo crucial para elevar a qualidade do produto final.

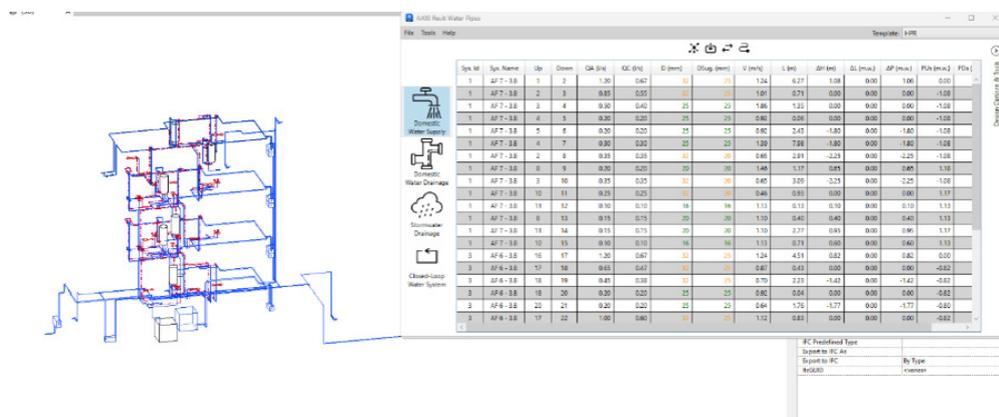
A automatização, durante a fase de projeto, permite não só economizar tempo, mas também promover o aumento da sua fiabilidade. Atualmente, é viável realizar o dimensionamento hidráulico de redes de abastecimento de água, redes de retorno de água quente, redes de combate a incêndio (incluindo redes de sprinklers) e redes de drenagem de águas pluviais e residuais, abrangendo o dimensionamento de tubagens e equipamentos diretamente da rede modelada em Autodesk Revit.

Para atingir esse objetivo, foram desenvolvidas classes de objetos personalizadas no Revit, contendo a informação e configuração necessárias para a realização do cálculo. Adicionalmente, foram concebidos addins em C# que permitem incorporar ao Revit novas metodologias de cálculo em conformidade com as regulamentações em vigor, tanto em Portugal como internacionalmente.

Para além do cálculo hidráulico, criaram-se também, diversas ferramentas para automatizar processos. Desde tarefas mais simples como numeração sequencial de elementos, a processos mais complicados como criação de Sheets, modelação e cálculo hidráulico de redes de sprinklers de acordo com as normas europeias e NFPA.

A implementação dessas ferramentas implica uma abordagem diferenciadora de todo o processo, exigindo a elaboração de novos workflows de modo a otimizar o

mesmo. A título de exemplo na Figura 5 encontra-se a vista geral do aplicativo para dimensionamento de redes de abastecimento de água baseada na definição de critérios como o nível de conforto, rácio de perdas de carga contínua e localizadas, entre outros. A mesma ferramenta funciona por interações de cálculo permitindo otimizar o diâmetro das tubagens e automaticamente atualizar as seções no modelo.



**Figura 5**  
Vista geral do aplicativo no modo de dimensionamento de rede de abastecimento – *Revit Water Pipes*.

#### 4. Clashmaster

A ferramenta *ClashMaster*, especializada na gestão de conflitos em ambientes BIM, foi desenvolvida com a finalidade de otimizar o processo de deteção e comunicação de colisões através da automatização de tarefas secundárias e transferir o procedimento de deteção de conflitos no Navisworks para um período calendarizado pelo utilizador, oferecendo uma abordagem eficaz e pragmática para os profissionais envolvidos na gestão de conflitos dos projetos.

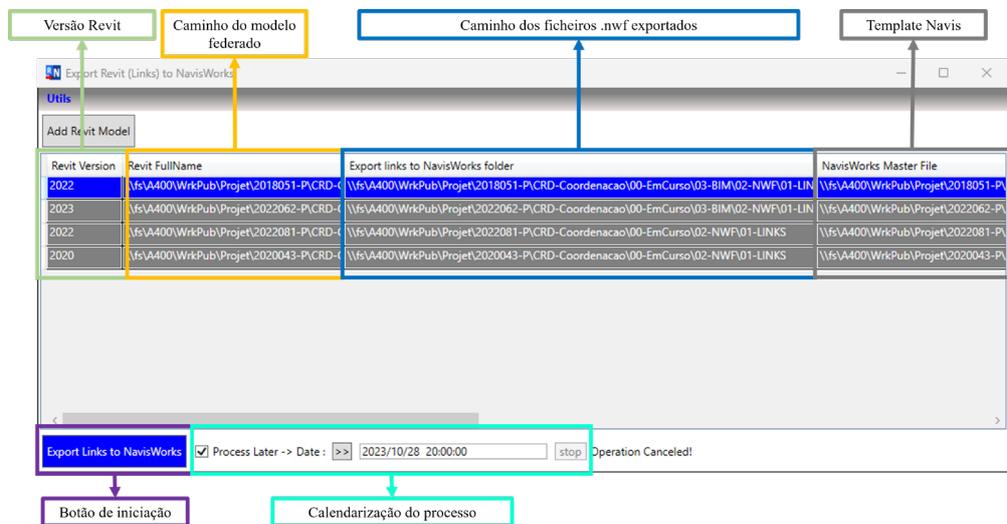
O *modus operandi* do *ClashMaster* baseia-se na seleção de um conjunto específico de projetos a serem analisados em que, neste procedimento, o programa acede ao diretório de ficheiros onde se encontra o modelo federado do respetivo projeto, no formato .rvt. Após aceder às vistas pré-configuradas, procede à exportação em lote (*batch*) das distintas especialidades para o formato .nwc. Posteriormente, a ferramenta cria um novo ficheiro .nwf, caso este ainda não exista, utilizando um template designado que incorpora configurações predefinidas, tais como tolerâncias com base numa matriz de colisões predefinida. Os modelos das especialidades são então integrados, e a deteção de colisões é executada, organizando-as em grupos previamente estabelecidos. Terminada esta tarefa, o ficheiro é guardado em formato .nwf, finalizando o ciclo para um projeto específico e repetindo-se sequencialmente para cada um dos projetos enumerados previamente, realizando de forma sistemática as mesmas tarefas. No contexto de projetos nos quais análises anteriores e/ou filtros de conflitos detetados já estejam presentes, a aplicação utiliza o mesmo ficheiro .nwf e preserva o estado das colisões previamente filtradas.

Dado o carácter plenamente autónomo desta ferramenta, desde que iniciada até ao final, permite dotá-la com uma funcionalidade de *timeschedule* que permite ao

utilizador agendar o momento em que deseja que estas tarefas sejam executadas relegando muitas vezes esta etapa para o período pós-laboral facilitando uma análise mais detalhada no dia seguinte. Esta abordagem otimiza a concentração na análise de colisões, dado que tarefas secundárias são automatizadas, possibilitando, assim, uma gestão eficaz de recursos e tempo.

Em síntese, a ferramenta *ClashMaster* emerge como uma contribuição valiosa no panorama da gestão de conflitos em projetos, ao otimizar significativamente o processo de deteção e comunicação de colisões. O seu desenvolvimento visa não apenas a automação de tarefas secundárias, mas também a transferência estratégica da abordagem para a análise pormenorizada de colisões.

**Figura 6**  
Aplicativo *ClashMaster*  
com enumeração dos  
projetos a analisar.



## 5. Holes

O desenvolvimento do aplicativo *Holes* resulta da demanda para simplificar a execução da tediosa tarefa de representar negativos e coretes nos projetos da especialidade de Estruturas. Fundamentalmente, este aplicativo possibilita ao departamento de Estruturas e Coordenação uma integração eficaz num fluxo de trabalho com as demais partes envolvidas. A ferramenta *Holes* garante a comunicação essencial entre a coordenação e as equipas de engenharia para estabelecer disposições e aberturas destinadas a condutas, tubagens, calhas técnicas ou qualquer outro elemento que atravesse elementos estruturais. O primeiro passo no funcionamento da ferramenta, dentro do modelo federado da coordenação, consiste em criar disposições e estabelecer regras de relações com os objetos de MEP. Isso implica definir geometrias mínimas a serem consideradas (por exemplo, ignorar tubos com diâmetros inferiores a 160 mm), determinar o sobredimensionamento das coretes em relação à tubagem e especificar os critérios para a ferramenta considerar várias tubagens individualmente ou um grupo de tubagens.

Em seguida, procede-se à deteção de colisão no modelo federado entre as classes de objetos como condutas, tubagens, esteiras, entre outros, e todos os elementos estruturais. Esta ação resulta na criação de um objeto genérico, ver Figura 8, conforme as configurações estabelecidas, que atua como representação dos negativos fundamentais para o projeto. Até este ponto, os objetos gerados no modelo de coordenação desempenham exclusivamente o papel de referência para a comunicação entre as disciplinas envolvidas. Somente posteriormente à troca de informações e o consenso entre as engenharias, o departamento de coordenação procede aos ajustes nos objetos criados para representar a solução final. Neste momento, a coordenação comunica com a especialidade de Estruturas, que, a partir do seu próprio modelo, examina os negativos e valida-os individualmente ou em conjunto, gerando de forma automática esses negativos no seu próprio modelo.

Isto possibilita ao departamento de Coordenação usar os objetos genéricos para comunicação das coretes com as especialidades MEP e ao departamento de estruturas a criação destes negativos e sucessivas atualizações bem como à eventual eliminação desses negativos durante a evolução do projeto.

The screenshot shows the A400 - Holes Automation software interface. The main window displays a table of inserted models in the federated model. Below this, there are sections for selecting filtered elements for walls and floors, a table of identified structural elements, and a panel for setting tolerances and auxiliary commands.

**Lista de modelos inseridos no modelo federado**

Index	Link Id	Link Name	Hide	Unhide
1	1267443	RVT.2021099-P.000.ARQ.SSE.Bases.rvt	Hide	Unhide
2	1383836	RVT.2021099-P.000.GPR.SSE.Bases.rvt	Hide	Unhide
3	1548514	RVT.2021099-P.000.HPR.SSE.001.rvt	Hide	Unhide
4	1491442	RVT.2021099-P.000.IEL.SSE.002.rvt	Hide	Unhide
5	1280978	RVT.2021099-P.000.IME.AVA.001.rvt	Hide	Unhide
6	1280952	RVT.2021099-P.L34.EST.SSE.001_CENTRAL.rvt	Hide	Unhide

**Separador de especialidade**

Coordination Structures

**Botão de seleção filtrada por Walls e floors**

Pick Ids (Floors,Walls,...) Inside Links :

Get All Ids [Floors] from Sel Link :

Get All Ids [Walls] from Sel Link :

Get All Ids [Floors,Walls] from Sel Link :

**Elementos estruturais identificados (Walls, floors, etc)**

Index	Link Id	Element...	Element...
1	1272608	1272609	Floors
2	1272608	1272626	Floors
3	1272608	1272634	Floors
4	1272608	1272642	Floors
5	1272608	1272650	Floors
6	1272608	1272658	Floors
7	1272608	1272666	Floors
8	1272608	1272674	Floors
9	1272608	1272682	Floors

**Tolerâncias**

Tolerance Around Conduits (m) 0.20

Hole Offset (m) 0.10

Minimum Conduit [alone] Dimension (mm) 120

Box Extrusion Offset (m) 0.10

**Comandos auxiliares**

Create Boxes ...  Angle Horiz (°) floors: 101.63 Update (?) Sel

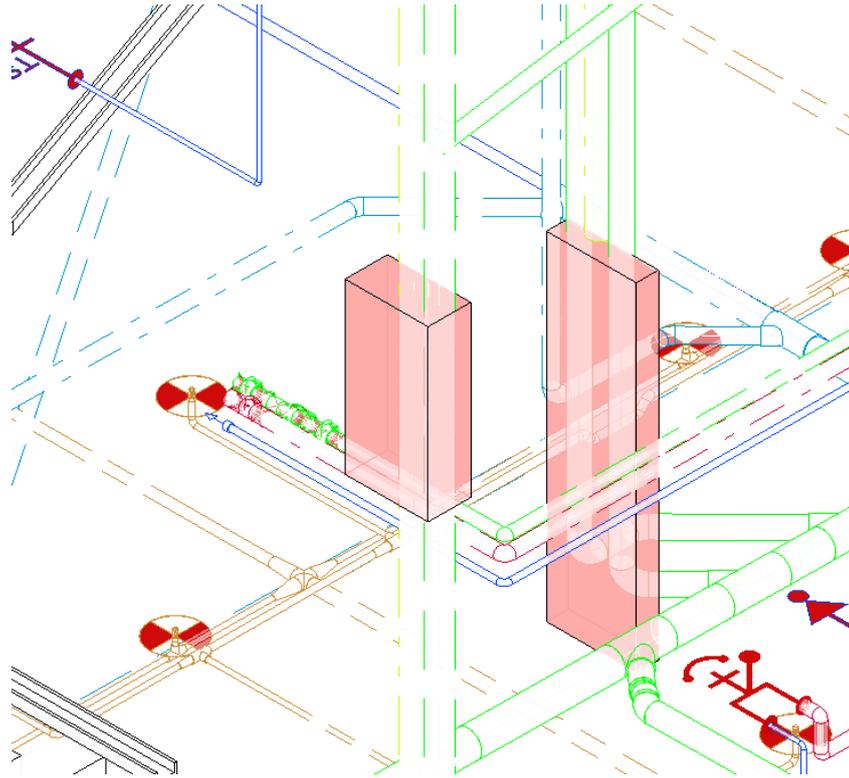
Isolate All [Boxes] Hide All [Boxes] Unhide All [Boxes] Delete All [Boxes] Merge [EQ] Merge Sel [\*X] Reset Isolate/View

A400

**Figura 7**  
Layout geral do aplicativo Holes.

**Figura 8**

Criação de um objeto genérico (a Rosa na imagem) no modelo federado na interseção de objetos.



## 6. Conclusão

No decorrer do presente artigo, apresentamos e analisamos quatro ferramentas desenvolvidas internamente - *MTQ Generator*, *ClashMaster*, *Revit Water Pipes* e *Holes* - concebidas para otimizar diversos processos no contexto do projeto de estruturas, instalações hidráulicas e coordenação num processo BIM. Cada uma dessas ferramentas surgiu como resposta a desafios específicos, demonstrando potencialidades distintas e contribuições significativas para a eficiência operacional e qualidade dos projetos desenvolvidos pela A400.

O *MTQ Generator*, inicialmente concebido para a criação e gestão de Mapas de Trabalhos e Quantidades, revelou-se uma ferramenta valiosa na otimização do processo de quantificação, automatizando tarefas e permitindo uma abordagem mais eficaz na preparação dos modelos para extração automática. As melhorias implementadas, especialmente na resolução de desafios relacionados com a identificação de artigos não modelados ou de unidade vg, assim como as funcionalidades de controlo de qualidade da medição no final do processo demonstram um compromisso contínuo com o aperfeiçoamento da ferramenta para atender às necessidades dinâmicas do processo de projeto. Embora a utilização da versão atual ainda se encontre restrita ao Revit, encontra-se atualmente em desenvolvimento estudos para que a ferramenta se transforme num instrumento externo à *software house* e permita, com o princípio de funcionamento apresentado adaptado, ser também aplicado numa abordagem de OpenBIM.

Outro desenvolvimento futuro é a utilização da ferramenta, enquanto instrumento externo ao Revit, como método para o registo de métricas por cada um dos projetos de execução, permitindo automaticamente construir uma base de dados de rácios atualizados e interligada com a ferramenta de gestão interna de projetos.

O *Revit Water Pipes*, focado no dimensionamento de redes hidráulicas, destaca-se como uma peça fundamental, automatizando cálculos e permitindo conformidade com normas nacionais e internacionais. A sua implementação, exigiu uma mudança na abordagem à modelação como também impulsionou a criação de ferramentas adicionais, demonstrando o compromisso contínuo da A400 com a inovação e otimização de processos de trabalho.

O *ClashMaster*, focado na gestão de conflitos em ambientes BIM, apresentou-se como uma solução autónoma e eficiente para a deteção de colisões. A automatização de tarefas secundárias e a capacidade de agendamento proporcionam uma abordagem pragmática para a análise detalhada de colisões, otimizando o tempo e recursos dos profissionais envolvidos na gestão de conflitos nos projetos.

Finalmente, o aplicativo *Holes* foi desenvolvido para simplificar a representação de negativos e coretes nos projetos de estruturas. Ao proporcionar uma comunicação eficaz entre o departamento de Coordenação e as especialidades de MEP e Estruturas, a ferramenta contribui para a integração harmoniosa de informações e soluções entre diferentes disciplinas, simplificando o processo de revisão e validação de aberturas destinadas a elementos de MEP.

## Referências

- [1] André Silva, Joel Ribeiro e Rúben Rodrigues, "AUTOMATIZAÇÃO DE PROCESSOS MEP ATRAVÉS DE DESENVOLVIMENTO BIM" no *PTBIM (2020)*, Porto, Portugal, 2020, pp. 331-340.



# Verificação de acessibilidade em escadas com BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.19>

Jessica Aida<sup>1</sup>, Aline Hilgemberg<sup>2</sup>,  
Adriano Franchini<sup>3</sup>, Erica Checcucci<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal da Bahia, Salvador, ID ORCID 0000-0002-7077-1236

<sup>2</sup> Univerza v Ljubljani, Ljubljana, ID ORCID 0009-0007-5413-6615

<sup>3</sup> Univerza v Ljubljani, Ljubljana, ID ORCID 0009-0009-4399-7975

<sup>4</sup> Universidade Federal da Bahia, Salvador, ID ORCID 0000-0002-3950-413X

## Resumo

Acessibilidade é a possibilidade de alguém acessar, se aproximar e utilizar um espaço. A norma brasileira ABNT NBR 9050:2020 trata da acessibilidade nas edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos e seu atendimento é obrigatório em todo Brasil. No entanto, não estão ainda difundidos no país métodos e técnicas para avaliação rápida e assertiva de projetos de arquitetura ou edifícios já existentes quanto ao atendimento de seus requisitos. O *Building Information Modeling* (BIM) pode auxiliar profissionais do setor da Construção Civil nesta tarefa. A sua crescente utilização no Brasil abre espaço para uso dos modelos como bancos de dados de entrada de informações visando verificação de requisitos de projeto, incluindo os de acessibilidade. Esse uso BIM é chamado de “*code checking and validation*” e objetiva avaliar um modelo BIM para conformidade de acordo com regras pre-estabelecidas. O objetivo desse artigo é apresentar e discutir uma pesquisa exploratória, de caráter experimental, realizada para verificar o atendimento a dois artigos da NBR9050 utilizando duas diferentes ferramentas: Dynamo BIM e Dynamo BIM com Python para modelos autorais em formato “.rvt”. O experimento foi estruturado com base nas etapas de interpretação da regra, preparação do modelo, execução da regra, exportação e análise de resultados. Será apresentada uma análise comparativa das potencialidades e limitações das linguagens de programação visual e textual para a verificação automática de regras com uso de modelo BIM autoral. Com este trabalho, espera-se auxiliar na ampliação do uso da verificação de requisitos de projeto para avaliar o atendimento da NBR 9050.

## 1. Introdução

A forma de análise de projetos baseada em BIM é chamada na literatura de *automatic rule-based checking*, *BIM-based automated code compliance checking* ou *code checking and validation*, que pode ser traduzido para verificação de regras com uso de modelos BIM, verificação automática de regras ou verificação de requisitos de projeto em BIM [1], [2], [3]. (EASTMAN *et al.*, 2009; MANZIONE, 2017; ISMAIL *et al.*, 2017).

Eastman *et al.* [4] (2014, p. 13) afirmam que BIM é “[...] uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção”. Com modelos BIM é possível operar simulações anteriores à obra, evitando erros e retrabalhos.

O quão desenvolvidos esses modelos devem ser para atender a seus diferentes usos é especificado pela ISO 19650-1 [5] como o Nível de Informação Necessário, ou *Level of Information Need*. Esta norma traz que “é recomendado que o nível de informação necessária para cada entregável seja determinado de acordo com o seu propósito de uso. Convém que a isto inclua uma definição adequada de qualidade, quantidade e granularidade da informação” [5]. Sendo assim, é importante considerar o uso BIM “verificação automática de regras” ao definir o Nível de Informação Necessário para cada projeto, de forma que este apresente as informações geométricas e alfanuméricas necessárias para verificar os requisitos desejados.

O modelo BIM é transversal a várias fases do ciclo de vida da edificação. Através da sua “geometria exata e os dados relevantes” [4] é possível fazer a aprovação de projetos não mais de forma manual. O método tradicional de verificação, além de manual é demorado, depende da experiência e julgamento do profissional que analisa e é propenso a erros humanos [6].

No Brasil, a aprovação de projetos deve ser feita, segundo a ABNT NBR 16.636 [7], na fase de “projetos para licenciamentos (PL-ARQ)”, ou seja, os modelos BIM precisam contemplar informações suficientes para checagem dos requisitos para aprovação em prefeituras ou demais órgãos de controle. Nas primeiras versões do Caderno BIM de Santa Catarina [8], documento importante no contexto BIM brasileiro, existia uma relação entre o Nível de Desenvolvimento BIM (ND) e as fases de projeto, entretanto, após a tradução da ISO 19650 [5] para português do Brasil, entendeu-se que “o Nível de Informação Necessário nos projetos baseados em BIM, de acordo com as diretrizes da ISO 19650 são definidos conforme o seu propósito, suas necessidades e para cada entregável”.

O objetivo desse artigo é apresentar e discutir um experimento realizado para verificar o atendimento a dois artigos da NBR9050 através de diferentes abordagens em Dynamo BIM e com a linguagem Python para a verificação de modelos autorais em “.rvt”.

## 2. A norma brasileira de acessibilidade, ABNT NBR 9050

Segundo o Decreto Federal 5.296/2004 [9], acessibilidade é “condição para utilização, com segurança e autonomia, total ou assistida, dos espaços, mobiliários e equipamentos urbanos, das edificações, dos serviços de transporte e dos dispositivos, sistemas e meios de comunicação e informação, por pessoa portadora de deficiência ou com mobilidade reduzida”.

Diante disso, Máximo *et al.* [10] afirmam que “a adaptação das edificações e das cidades, com a remoção de barreiras arquitetônicas, é uma preocupação”. Santos, Schimitz e Ribas [11] acrescentam que “[...] por mais que se tenha ciência deste panorama, por mais que haja regulamentos que determinem a eliminação de barreiras, sua aplicação ainda se verifica muito restrita e o que se vê é a falta de acessibilidade no ambiente geral”.

Acrescenta-se à preocupação com a acessibilidade, o envelhecimento da população brasileira. O censo de 2022 do IBGE [12] apontou que 10,9% da população brasileira tinha 65 anos ou mais, sendo uma alta de 57,4% em relação ao censo de 2010 [13]. O Censo de 2008 já afirmava que a inversão da pirâmide etária aconteceria até 2060 [14]. Além do envelhecimento da população, a porcentagem de pessoas com deficiência se mostrou significativa no mesmo senso de 2022 realizado pelo IBGE, que apontou um total de 18,6 milhões de pessoas de 2 anos ou mais, o equivalente a 8,9% da população com essa faixa etária, com alguma deficiência [15].

São muitos os esforços para tornar mandatário que os espaços urbanos e arquitetônicos sejam acessíveis a todo cidadão, como o Decreto Federal 5.296/2004 [9]; a Lei Federal nº 10.098 de 19 de dezembro de 2000 [16], que estabelece normas e critérios básicos para a supressão das barreiras e promoção da acessibilidade, além de englobar pessoas com mobilidade reduzida, permanente ou temporária, que não são considerados como deficientes (obesos, lactantes, idosos, acidentados); a Política Nacional de Mobilidade Urbana [17]; o Estatuto das Cidades [18], que passou a tornar obrigatório junto aos Planos Diretores, um Plano de Rotas Acessíveis [19]; o Estatuto das Pessoas com Deficiência, “resultado de esforços e longas discussões desde seu primeiro texto de projeto” [14]; e a ABNT NBR 9050:2020 Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos [20].

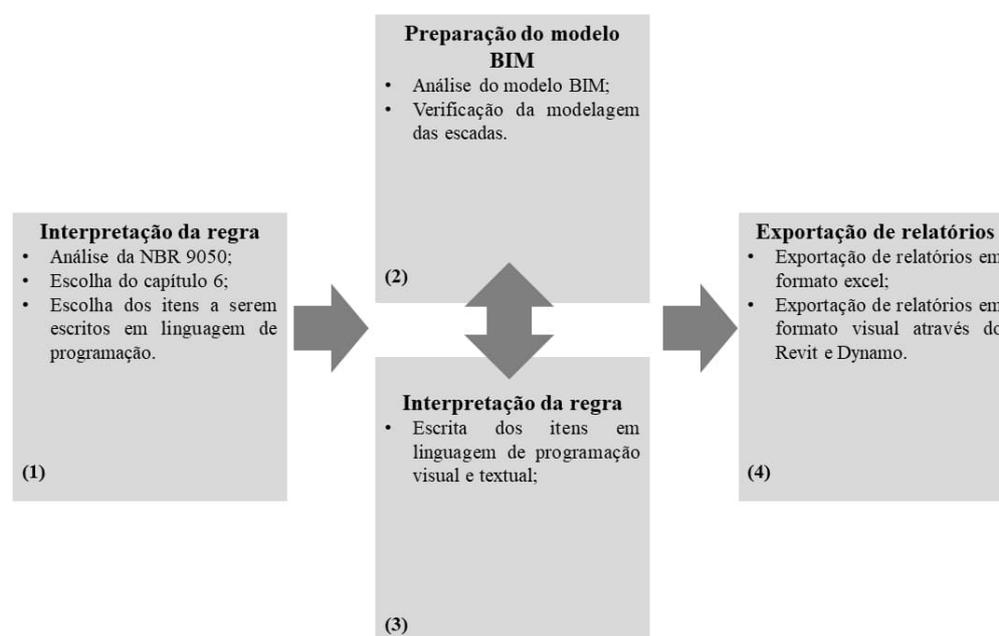
Diante destes, a ABNT NBR 9050 desponta como uma tentativa de estabelecer “[...] critérios e parâmetros técnicos a serem observados quanto ao projeto, construção, instalação e adaptação do meio urbano e rural, e de edificações às condições de acessibilidade.” [20]. A norma vem ganhando destaque pelo seu amadurecimento, sendo conhecida não somente por técnicos como por leigos. Rodrigues e Bernardi [19] afirmam que “por centralizar os principais assuntos relacionados à temática, tornou-se referência, sendo uma das redações mais conhecidas (...)”.

### 3. Metodologia

A pesquisa se configura como exploratória, que é aquela que busca ampliar os conhecimentos do pesquisador em determinada área e avaliar alternativas e possibilidades de trabalho (nesse caso, a realização de *code checking* utilizando o BIM, suas vantagens e desafios). Foram adotados procedimentos de manipulação experimental que, segundo Marconi e Lakatos [21], objetivam demonstrar que uma técnica ou procedimento pode ser uma solução adequada, potencial ou viável para resolver alguma questão.

A pesquisa se iniciou com uma revisão de literatura objetivando compor o embasamento teórico do tema e, na sequência, o experimento foi planejado e desenvolvido seguindo as quatro etapas propostas por Eastman *et al.* [1] e apresentadas na Figura 1.

**Figura 1**  
Etapas do desenvolvimento da verificação baseado em Eastmann *et al.* [1].



A primeira fase consiste na interpretação das regras, que são escritas por pessoas, em regras computacionais para que o software possa avaliar o modelo. Segundo Oliveira [22], nessa etapa é “considerada pela literatura a mais difícil do processo”. Nawari [23] coloca duas questões importantes sobre a informatização de sistemas: a primeira é que as regras presentes em normas foram feitas para serem interpretadas por pessoas e não computacionalmente, sendo que a adaptação destas caracteriza um desafio, em especial na Indústria AEC; a segunda questão, que é consequência da primeira, é a importância crucial de se esclarecer as limitações de uma informatização, indicando a parte dos códigos e regras que pode ou não ser informatizada. Para este experimento, foram escolhidos os itens presentes no capítulo 6 da NBR 9050 [20], Acessos e Circulação. Em seguida, ainda nesta etapa, foram delimitados os artigos 6.8.2 e 6.8.3, relacionados às escadas que serão transcritos na sessão 4.

A fase de preparação do modelo BIM consiste em inserir as informações necessárias para que a checagem possa ser realizada. Coloca-se “informação” de forma genérica, pois preparar o modelo BIM para uma checagem de requisitos de projeto envolve garantir que este contenha o Nível de Informação Necessário para tal, como a inserção de parâmetros específicos dentro dos objetos ou ainda de objetos específicos no modelo. A responsabilidade de entregar a informação necessária à verificação fica a cargo da equipe de entrega, conforme dita a ISO 19650 [5], ou seja, daqueles que desenvolvem o projeto. Entretanto, para tal é necessário que a informação necessária seja devidamente documentada e requisitada na contratação da equipe de projeto.

A etapa de Preparação do modelo BIM para o desenvolvimento deste estudo contou com a análise dos modelos da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, previamente desenvolvidos para fins de registro do campus e sem que houvesse usos BIM definidos para os mesmos.

A fase de execução das regras é a junção das regras a serem interpretadas por computador e do modelo contendo as informações que darão resposta à verificação. Nesse momento, foram testados *scripts* em um primeiro modelo BIM para verificar se todo o fluxo funcionaria, especialmente na etapa de exportação de relatórios. Sobre esta fase, Eastman *et al.* [1] evidenciam a necessidade de se operar uma pré-verificação sintática. Isso significa verificar se as informações necessárias à checagem estão disponíveis e adequadas no modelo, evitando que no momento da verificação final apareçam resultados inadequados, como falsos positivos.

A exportação dos relatórios é extremamente importante para a verificação de regras. É em posse desse documento que equipes de projeto podem rever as soluções para adequá-las às normas e legislações. Eastman *et al.* [1] defendem que o relatório seja gráfico e faça referência à localização do erro através de coordenadas, mesmo os elementos do modelo BIM possuindo identificadores numéricos, além de se referir exatamente à qual parte da norma ou legislação não está sendo atendida, evitando que o responsável pelo projeto precise revisar todo o projeto ao invés de ir diretamente nas falhas. Para obter os relatórios, foram usadas as estratégias de exportá-los para planilhas em excel e de apresentá-los também como imagens em 3D, onde o elemento verificado é apresentado em azul ou vermelho, se estiver ou não conforme a norma, respectivamente.

## 4. Experimento

As etapas de Interpretação da Regra e Preparação do Modelo BIM foram as mesmas para as três soluções, para garantir uniformidade de entradas (*inputs*). Entretanto, o trabalho seguinte foi realizado individualmente, de forma a possibilitar a comparação entre resultados e como estes são representados.

Solihin *et al.* [24] classificaram as regras em quatro classes, na seguinte ordem crescente de complexidade: classe 1: regras que requerem poucos ou um único dado explícito; classe 2: regras que requerem valores simples derivados de atributos;

classe 3: regras que requerem uma estrutura extensa de dados; e classe 4: regras que requerem uma “prova de solução”. Destas, é possível verificar as classes 1 e 2 através de linguagens visuais de programação (VPL). Esta classificação evidencia as limitações impostas em cada verificação, seja pela complexidade das regras ou pelas limitações das ferramentas disponíveis no mercado.

O escopo desta investigação compreende a verificação dos itens 6.8.2 e 6.8.3 da ABNT NBR 9050 [20], transcritos na Tabela 1.

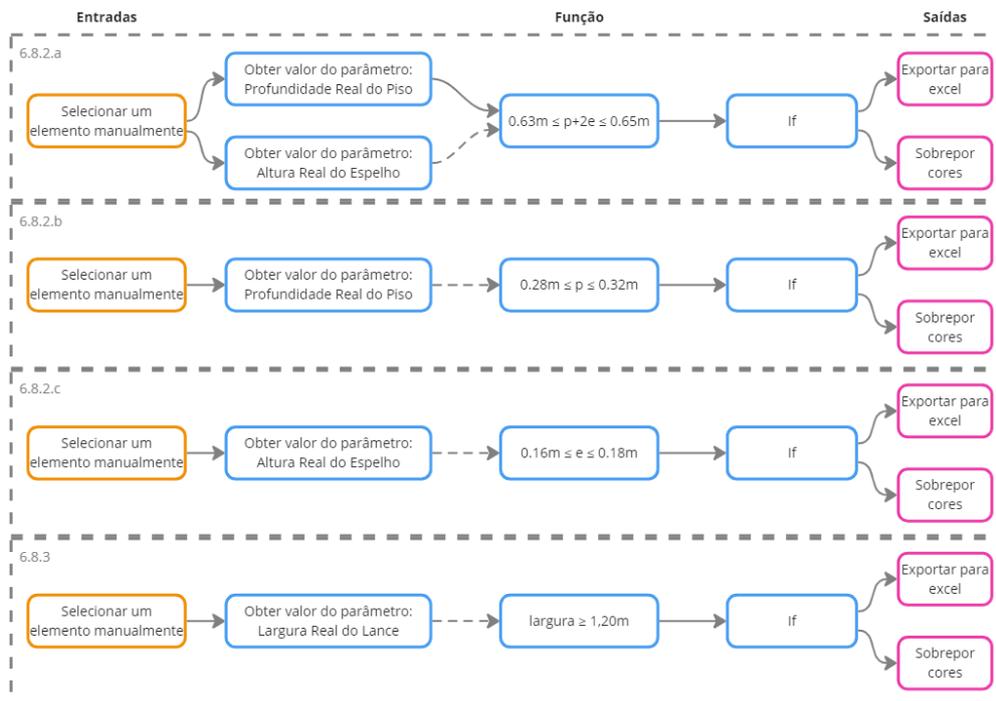
Tabela 1: Itens da NBR 9050 verificados no experimento

Descrição do item segundo a NBR 9050	
6.8.2	As dimensões dos pisos e espelhos devem ser constantes em toda a escada ou degraus isolados. Para o dimensionamento devem ser atendidas as seguintes condições: a) $0,63\text{m} \leq p + 2e \leq 0,65\text{m}$ ; b) pisos (p): $0,28\text{m} \leq p \leq 0,32\text{m}$ ; e c) espelhos (e): $0,16\text{m} \leq e \leq 0,18\text{m}$ .
6.8.3	A largura das escadas deve ser estabelecida de acordo com o fluxo de pessoas, conforme ABNT NBR 9077. A largura mínima para escadas em rotas acessíveis é de 1,20 m, e deve dispor de guia de balizamento conforme 6.6.3.

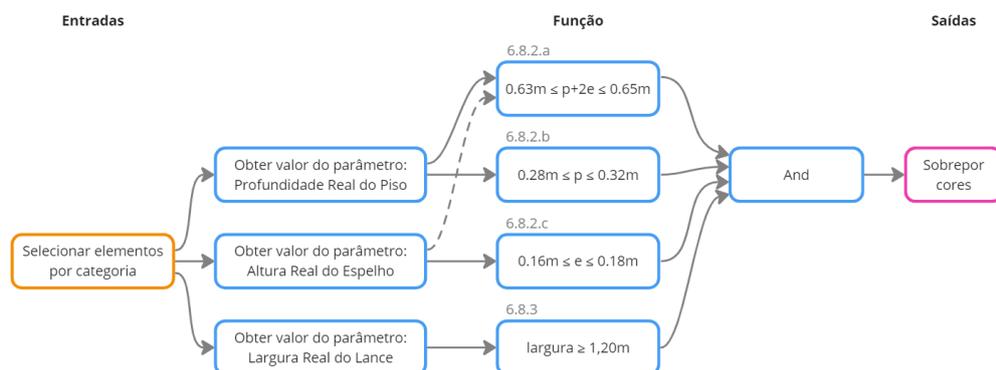
Como recorte de pesquisa, para o item 6.8.3 foi considerada apenas a necessidade de largura mínima de 1,20m.

Cada solução conta com abordagens específicas, além da interpretação dos pesquisadores sobre o fluxo de trabalho de verificação automática pelo usuário e do formato de relatório a ser extraído. Quanto ao fluxo de trabalho, a primeira e a segunda solução foram realizadas em Dynamo BIM, com foco em modelos autorais em formato “.rvt”. Essa abordagem se mostrou eficaz, com nós específicos para localizar e selecionar elementos no formato autoral do Revit. A terceira abordagem também foi realizada em Dynamo BIM, porém com a integração de blocos de *script* em Python. Neste caso, o objetivo foi verificar todos os elementos relevantes de um modelo de uma única vez, gerando somente um relatório por “ciclo de verificação” quanto à acessibilidade em projetos.

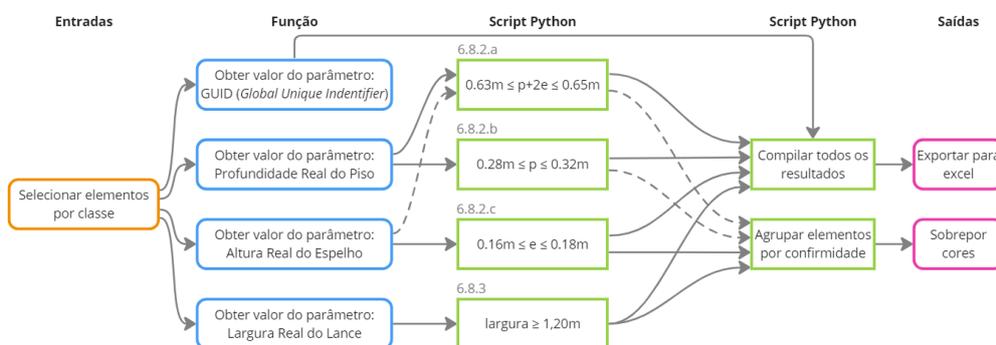
Um ponto importante é a adequada escolha de parâmetros relevantes para cada regra. No caso das abordagens realizadas em Dynamo, representadas nas Figuras 2, 3 e 4, houve um cuidado de selecionar os parâmetros padrão do Revit, conforme sua forma de estruturar os dados para cada objeto, de modo que o *script* funcione na maioria dos modelos autorais desenvolvidos nesse software.



**Figura 2**  
Fluxo de trabalho da solução 1.



**Figura 3**  
Fluxo de trabalho da solução 2.



**Figura 4**  
Fluxo de trabalho da solução 3.

Na solução 3, os blocos de *script* Python foram utilizados para encurtar a rotina Dynamo, deixando-a mais direta já na verificação de conformidade quanto as regras, mas principalmente na estruturação dos dados resultantes para o relatório de conformidade e a sobreposição de cores. Todo o código foi pensado para funcionar independentemente do número de elementos a serem verificados, uma vez que o *script* foi desenvolvido para rodar em qualquer modelo Revit e, portanto, não se sabe de antemão o que será verificado. O uso do Python em pontos chave da rotina permite que isso seja feito sem grandes complicações. A Figura 5 mostra o bloco de código Python que estrutura os resultados para a posterior sobreposição de cores.

**Figura 5**  
Código em Python para estruturar os resultados das regras.

```
#Conversion of lists of rules to lists of elements
allRules=[]
for r1,r2,r3,r4,r5 in zip(IN[0],IN[1],IN[2],IN[3],IN[4]):
    allRules.append([r1,r2,r3,r4,r5])

#create a list for elements that have any nonCompliant results, and one for elements that are compliant
compliantList,nonCompliantList=[],[]

#takes element in allRules, and idx from 0 to n
for idx,element in enumerate(allRules):
    if 'nonCompliant' in element:
        nonCompliantList.append(IN[5][idx])
    else:
        compliantList.append(IN[5][idx])
OUT = [compliantList,nonCompliantList]
```

Quanto ao relatório de conformidade, todas as soluções trabalharam com a sobreposição de cores nos elementos para uma fácil visualização do resultado da verificação. Para tanto, o padrão de cores definido foi azul para elementos conformes, e vermelho para elementos não conformes. Ainda assim, houveram diferenças entre as formas como cada pesquisador trabalhou com esta sobreposição: Nas soluções 1 e 2, a escada toda fica vermelha quando qualquer uma das regras de qualquer uma das partes da escada (lances e patamares) estiver fora da norma; enquanto na solução 3 a sobreposição acontece por partes da escada (cada lance e cada patamar), sendo que cada qual recebe a cor azul apenas quando todas as regras referentes àquela parte da escada forem respeitadas. Destaca-se, entretanto, que esta sobreposição é visualizada dentro do Dynamo, com o propósito apenas de facilitar a identificação dos elementos verificados e seus *status* de conformidade.

Adicionalmente, as soluções 1 e 3 contam com a extração de relatórios de conformidade em formato Excel, os quais configuram documentos resultantes da verificação de acessibilidade. No caso da solução 1, conforme pode ser verificado na Figura 2, cada regra verificada para cada elemento gera um arquivo excel. Já na solução 3, todos os elementos relevantes do modelo são verificados de uma única vez, desde que estejam devidamente classificados, e o documento resultante é uma única planilha Excel. Este documento traz em seu *template* os itens da norma com suas descrições, e recebe as informações de GUID (*Globally Unique Identifier*) do elemento verificado, bem como seu *status* de conformidade para cada item da norma. A célula referente a cada resultado recebe automaticamente a cor de fundo conforme o esquema de cores supracitado para fácil entendimento de conformidade do modelo como um todo (Figura 6).

ITEM	DESCRIPTION	RESULTS				
	<b>RUNS GUID</b>	1grgg0jWDF4wGm86q65Tzt	1grgg0jWDF4wGm86q65T_C	085QcrWcH8tf6shAXY6uRH	085QcrWcH8tf6shAXY6uRJ	
6.8.2	The dimensions of treads and risers must be consistent throughout the entire staircase or isolated steps. For dimensioning, the following conditions must be met:	a) $0.63m \leq p + 2e \leq 0.65m$ ,	nonCompliant	nonCompliant	compliant	compliant
	b) Treads (p): $0.28m \leq p \leq 0.32m$ ,	nonCompliant	nonCompliant	compliant	compliant	
	c) Risers (e): $0.16m \leq e \leq 0.18m$ .	nonCompliant	nonCompliant	compliant	compliant	
6.8.3	The minimum width for stairs in accessible routes is 1.20m.	compliant	compliant	compliant	compliant	
6.8.7	Stairs must have at least one landing for every 3.20 m of vertical distance and whenever there is a change in direction	compliant	compliant	compliant	compliant	

Tabela 2: Soluções de verificação

	Software	Descrição
Solução 1	Dynamo	Verifica um único elemento, com um <i>script</i> e relatório para cada item da norma. Possível usar o <i>Dynamo Player</i> para verificação.
Solução 2	Dynamo	Verifica todos os elementos do modelo de uma vez, em um único <i>script</i> . Possível usar o <i>Dynamo Player</i> , com parâmetros editáveis.
Solução 3	Dynamo e Python	Verifica todos os elementos do modelo de uma vez, em um único <i>script</i> . Relatório em um único Excel com IFC GUID dos elementos.

**Figura 6**  
Relatório de conformidade gerado pela solução 3.

## 5. Resultados e discussão

A experiência de traduzir as regras de acessibilidade para linguagens de programação mostrou que alguns itens podem ser verificados computacionalmente sem grandes barreiras, enquanto outros requerem certa experiência com programação ou mesmo não podem ser verificados através de *scripts*. Os itens 6.8.2 e 6.8.3 são exemplos que, por conterem relações numéricas explícitas, podem ser verificados através de funções matemáticas.

A primeira solução propôs *scripts* separados em vários arquivos Dynamo, cada qual verificando um único item da norma, de forma que o usuário tem mais controle sobre aquilo que é verificado e que requer menos processamento computacional. Entretanto, verificar todos os itens da norma desta forma seria cansativo ao usuário. Ainda, nessa abordagem o resultado de cada verificação é sempre inserido na mesma célula da planilha excel, de forma que é necessário que cada escada tenha seu próprio relatório, dificultando a gestão destes documentos em grandes edifícios.

As soluções 2 e 3 verificaram um conjunto de itens dentro do mesmo ambiente do Dynamo, o que requer maior capacidade de processamento, mas torna o uso mais prático à equipe de projeto.

Visto que as três abordagens que utilizaram VPL foram feitas em Dynamo para modelos autorais em Revit, houve um foco em utilizar parâmetros padrões do Revit conforme o tipo de objeto. Para outras abordagens, entretanto, recomenda-se realizar a verificação em modelo IFC, de forma que é preferível utilizar parâmetros comumente encontrados nestes, os quais normalmente carregam a mesma nomenclatura (especialmente aqueles relacionados à dimensões ou quantidades). Ao utilizar outros parâmetros, é importante defini-los no Nível Necessário de Informação, já na contratação do projeto, de forma que o modelo não apenas contenha a informação

necessária para a verificação, mas também que essa informação seja apresentada conforme o padrão do *script* e possa, portanto, ser interpretada pelo computador.

## 6. Considerações finais

O desenvolvimento dos itens da NBR 9050 [20] para verificação de regras usando linguagem de programação visual e textual tornou irrefutável a necessidade do desenvolvimento desse uso BIM logo na fase de projeto, no entanto, ainda existem desafios a serem vencidos. O primeiro é como desenvolver uma verificação de norma completa, de forma que o usuário final, ou seja, o projetista, consiga usar o código sem necessariamente ter conhecimentos em linguagem de programação. A proposição apresentada foi testada em contexto acadêmico porém é replicável para os usuários do software Revit, já que os arquivos de rotinas em Dynamo são facilmente compartilháveis e ajustáveis a diferentes parâmetros de norma. Existe o desafio de como tornar esse código compacto o suficiente para ser usado sem entraves computacionais mesmo que suficientemente completo para que se possa operar uma verificação de norma em sua possível totalidade.

Como trabalhos futuros indica-se o desenvolvimento de *scripts* para verificação dos demais itens da norma, com o uso do Dynamo Player, a fim de facilitar a usabilidade para os projetistas. Também se faz necessário pensar como tornar *scripts* em linguagem de programação em tamanhos aceitáveis ao processamento computacional e às futuras revisões. Por fim, uma vez que no fim do processo de verificação de regras tem-se a exportação dos relatórios de *compliance*, uma possibilidade nesse campo é a criação de arquivos em BIM *Collaboration Format* (BCF) como registo dos itens não condizentes.

## Referências

- [1] C. M. Eastman, J. Lee, Y.-S. Jeong, J.-K. Lee, "Automatic rule-based checking of building designs". *Automation in Construction*, v. 18, n. 8, p. 1011-1033, July 2009. doi: 10.1016/j.autcon.2009.07.002
- [2] L. Manzione, Verificação Automatizada de Regras Em BIM: Uma Revisão Sistemática da Literatura. p. 13, 2017.
- [3] A. S. Ismail, K. N. Ali. and N.A lahad. "A review on BIM-based automated code compliance checking system". In: 2017 International Conference on Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS). IEEE, 2017. pp. 1-6.
- [4] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Hoboken, NJ.: Wiley, 2008.

- [5] International Organization for Standardization, "BS EN ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles". 2018.
- [6] Malsane, S., Matthews, J., Lockley, S., Love, P. E. D., & Greenwood, D. (2015). Development of an object model for automated compliance checking. *Automation in Construction*, 49(PA), pp. 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.004>
- [7] NBR 16.636-1. "Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos". Associação Brasileira de Normas Técnicas. (ABNT), 2017.
- [8] SANTA CATARINA, Caderno de especificações de projectos em BIM, 2023, Governo do Estado de Santa Catarina, Brasil. Vol. 3. 2023.
- [9] BRASIL. (2004, Dez. 02). Decreto n.º 5.296/2004 [Online] Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm). Acesso em 12 Mar. 2023.
- [10] M. Máximo. Palácio Itamaraty em Brasília: análise de adequação às normas brasileiras sobre acessibilidade e propostas de melhoria, respeitando a autenticidade. *Congresso Luso-Brasileiro Para O Planejamento Urbano, Regional, Integrado E Sustentável – Pluris 2012: Reabilitar O Urbano*, Vol. 5., 2012.
- [11] A. Santos, L. Santos, V. Ribas. Acessibilidade de habitações de interesse social ao cadeirante: um estudo de caso. *Ambiente Construído*. v. 5, n. 1, pp. 55-75, Março 2005.
- [12] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico, 2022 [Online] Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 28 Dez. 2023.
- [13] I. Gomes, V. Britto. Censo 2022: Número de pessoas com 65 anos ou mais de idade cresceu 57,4% em 12 anos. [Online] Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/38186-censo-2022-numero-de-pessoas-com-65-anos-ou-mais-de-idade-cresceu-57-4-em-12-anos#:~:text=SETI%20DAEN%20FPR,Em%202022%2C%20o%20total%20de%20pessoas%20com%2065%20anos%20ou,7%2C4%25%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 18 Dez. 2023.
- [14] A. Portugal, B. Pinho, B. Barbosa. Acessibilidade: Barreiras Arquitetônicas e Urbanísticas e o Desenvolvimento de Ambientes Acessíveis. *Revista Teccen*. Jul./Dez.13 12-17. 2020

- [15] I. Gomes. Pessoas com deficiência têm menor acesso à educação, ao trabalho e à renda. [Online] Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37317-pessoas-com-deficiencia-tem-menor-acesso-a-educacao-ao-trabalho-e-a-renda>. Acesso em: 18 Dez. 2023.
- [16] BRASIL, (2020, Dez, 19) Lei Federal n.º 10.098/2000. [Online]. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l10098.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l10098.htm). Acesso em 12 Mar. 2023.
- [17] BRASIL, (2013). Política Nacional de Mobilidade Urbana, Ministério das Cidades [Online] Disponível em: [https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/cartilha\\_lei\\_12587.pdf](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/cartilha_lei_12587.pdf). Acesso em: 12 Mar. 2023.
- [18] BRASIL, (2001, Jul, 10). Lei Federal n.º 10.257/2001, Estatuto da Cidade [Online] Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/l10257.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm). Acesso em: 12 Mar. 2023.
- [19] J. Rodrigues, N. Bernardi. AABNT NBR 9050: A difusão da acessibilidade pela Norma. *VIII Encontro Nacional sobre Ergonomia do Ambiente Construído*, p. 14, 2020.
- [20] ABNT NBR 9050.
- [21] M. Marconi, E. Lakatos. *Fundamentos de metodologia de científica*. Cidade: São Paulo. Editora: Atlas. 2003.
- [22] M. Oliveira. *Integrated Tools for Digital Building Permit*. Politecnico di Milano. Milão, Itália. 2022.
- [23] N.O. Nawari. BIM-model checking in building design. *Structures congress. 2012*. pp. 941-952. [Online] Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784412367.084>. Acesso em: 9 Nov. 2022.
- [24] W. Solihin. and C. M. Eastman. Classification of rules for automated BIM rule checking development. *Automation in construction*, Georgia, v. 53, pp. 69-82, 2015.

# Integração de algoritmos de otimização de corte em ambientes de modelação BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.20>

**Vitor Cardoso<sup>1</sup>, Nycolas Glerean<sup>2</sup>,  
Margarida Amândio<sup>3</sup>, Luís Sanhudo<sup>4</sup>,  
João Poças Martins<sup>2,5</sup>, Samuel Delgado<sup>6</sup>, Marco Aniceto<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> *BUILT CoLAB, Porto, ID ORCID 0000-0002-4886-2406*

<sup>2</sup> *BUILT CoLAB, Porto*

<sup>3</sup> *BUILT CoLAB, Porto, ID ORCID 0000-0002-6340-0648*

<sup>4</sup> *BUILT CoLAB, Porto, ID ORCID 0000-0002-2578-6981*

<sup>5</sup> *CONSTRUCT – Gequaltec, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, ID ORCID 0000-0001-9878-3792*

<sup>6</sup> *Solancis – Sociedade Exploradora de Pedreiras, Alcobaça*

## Resumo

O BIM (Building Information Modelling) destaca-se como uma das principais metodologias adotadas pela AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) para enfrentar os desafios de sustentabilidade e inovação da indústria. Os modelos digitais intrínsecos a esta metodologia suportam o desenvolvimento de processos e software que até recentemente existiam como serviços isolados, frequentemente originando problemas de troca de informação entre equipas. Este é o caso de software para otimização de corte de matérias-primas, onde as soluções atuais não apresentam interoperabilidade com software de modelação BIM. De facto, o processo mais ágil de troca de informação encontrado requer a exportação e organização manual da informação do modelo num formato intermédio, antes de ser importada para o software de otimização. Contudo, este processo permanece complexo, laborioso e demorado, potenciando erros. O presente artigo aborda este desafio, propondo um software para integração de algoritmos de otimização de corte em ambientes de modelação BIM. O artigo foca, em particular, problemas de 2D Guillotine Bin Packing, com a possibilidade de criar, otimizar e gerir múltiplas encomendas de matéria-prima por projeto.

A ferramenta permite a pré-visualização dos resultados, identificando o desperdício obtido e desenhando as peças e cortes a serem realizados. Estes artefactos estão prontos a serem utilizados em produção e podem ser exportados para facilitar a comunicação entre profissionais da cadeia de valor. O artigo faz uma análise crítica sobre o potencial impacto da integração deste tipo de software no fluxo de trabalho BIM, exemplificando a sinergia entre automação, otimização e sustentabilidade.

## 1. Introdução

A indústria AEC continua a evoluir rapidamente, fortemente influenciada pela integração do BIM [1]. O BIM é uma metodologia digital que permite a criação e gestão de informações detalhadas sobre um projeto de construção ao longo do seu ciclo de vida. Engloba a modelação tridimensional, a colaboração entre diferentes disciplinas e a gestão de dados, facilitando a tomada de decisões mais informadas e eficientes.

Embora o setor AEC tenha registado avanços significativos, persistem desafios notáveis, sobretudo na integração eficaz de fluxos de trabalho [2]. O potencial do BIM para aprimorar a gestão de projetos e fomentar a colaboração é considerável, mas a sua integração com outras ferramentas ainda não é totalmente explorada [3].

Um dos principais entraves reside na extração e utilização dos dados dos modelos BIM. Apesar destes modelos terem capacidade para serem fontes ricas de informação, a sua conversão para aplicações práticas apresenta variados desafios, comprometendo assim os benefícios de eficiência prometidos pelo BIM e restringindo a sua aplicabilidade plena na indústria AEC [4].

Um exemplo reside nas soluções atuais de otimização do corte de matérias-primas, por motivos económicos de redução de custo e por motivos ambientais de redução de desperdício [5]. A indústria AEC é das que mais contribui para o desperdício de materiais, sendo a falta de otimização de processos apontada como um fator chave [6].

São correntemente utilizados algoritmos e heurísticas de Bin Packing para a otimização do corte de matérias-primas [7]. Os algoritmos de Bin Packing alocam de forma ótima um conjunto de itens de diferentes tamanhos dentro de um painel de tamanho fixo maior. Estes algoritmos consideram vários fatores, como as dimensões dos itens, do painel e as possíveis orientações dos itens. O desafio está em encontrar a disposição mais eficiente no uso do espaço, respeitando variadas restrições.

Estes algoritmos são complexos sendo o Bin Packing classificado como um problema NP-hard [8]. Devido à complexidade e ao tempo necessário para resolver exatamente problemas NP-hard, para encontrar o ótimo global, especialmente à medida que o tamanho do problema aumenta, frequentemente recorre-se a heurísticas [9][10]. As heurísticas são estratégias ou métodos usados para encontrar soluções suficientemente boas e eficientes num prazo razoável. Elas podem não garantir a solução ótima global, mas proporcionam uma abordagem prática para resolver problemas complexos onde encontrar a melhor solução é computacionalmente impraticável. As heurísticas são essenciais onde decisões devem ser tomadas rapidamente e os recursos são limitados.

A literatura existente demonstra o esforço e investimento em automatizar e otimizar estes processos em ambientes BIM [11], além da procura de algoritmos e heurísticas para problemas de Bin Packing incrementalmente mais eficientes [12].

Ainda assim soluções comerciais ou gratuitas atuais não demonstram uma interoperabilidade contínua com softwares de modelação BIM. Frequentemente envolvem software de terceiros que opera independentemente dos sistemas BIM [13], levando a um fluxo de trabalho desarticulado e ineficiente. Com efeito, o método mais eficaz de troca de informação identificado implica a exportação e armazenamento dos dados do modelo num formato intermédio, antes da sua importação para o software de otimização. Um procedimento complexo, exigente e demorado, com propensão para erros humanos.

A integração de algoritmos de Bin Packing diretamente em plataformas BIM, como o Autodesk Revit, oferece uma solução promissora para estes desafios, com o potencial de melhorar significativamente o processo de tomada de decisão, resultando em melhor gestão de recursos e sustentabilidade [14].

Este artigo explora o desenvolvimento de um plugin para Revit que integra dados extraídos de modelos BIM com o algoritmo de otimização de problemas Guillotine 2D Bin Packing. O algoritmo Guillotine impõe regras de corte mais rigorosas, exigindo que o corte abranja toda a largura ou altura do painel principal, consequentemente obrigando os cortes a serem feitos sempre a 90 graus com as laterais do mesmo.

O plugin visa simplificar a criação de pedidos de material diretamente do modelo BIM, reduzindo o tempo e o potencial de erro na extração de dados. Ao permitir que os profissionais selecionem elementos, associem parâmetros do modelo e configurem Revit Sheets dentro do ambiente BIM, o plugin exemplifica o potencial para um fluxo de trabalho mais contínuo, automatizado e sustentável na indústria AEC. Sendo assim, os objetivos com o desenvolvimento do plugin proposto englobam:

- Gestão de encomendas por projeto;
- Configuração de encomendas relativamente a parâmetros do Revit, e parâmetros opcionais, incluindo espessura, material, tratamento da superfície, orientação do veio de corte, margens do painel, e largura da lâmina de corte;
- Otimização da alocação dos itens de matéria-prima a um conjunto de painéis;
- Previsualização de resultados, incluindo filtros para rapidez de consulta;
- Exportação para Revit Sheets, incluindo escolha de template e tamanho da letra.

Cada Revit Sheet exhibe uma lista detalhada de itens e a sequência de corte, juntamente com um esquema visual dos itens no painel correspondente. Isto representa uma tela final de produção, pronta a ser utilizada em fábrica, fornecendo todas as informações necessárias para o corte.

## 2. Metodologia

A metodologia do presente trabalho divide-se em três partes que justificam as escolhas tomadas durante a fase de design. O racional de desenvolvimento especifica as tecnologias e a arquitetura de engenharia de software aplicadas. O fluxo de

utilização guia a concetualização das funcionalidades pretendidas e das interações necessárias para as satisfazer. Por último, o algoritmo e as heurísticas disponibilizadas são detalhados.

## 2.1. Racional de desenvolvimento

Os desenvolvimentos do plugin proposto pressupõem um determinado racional de desenvolvimento devido às ferramentas disponibilizadas. Sendo que o Revit, desenvolvido pela Autodesk, disponibiliza uma API (Interface de Programação de Aplicações) que é primordialmente projetada para ser compatível com a framework .NET, optou-se por esta para o desenvolvimento. A escolha recaiu sobre a linguagem C# como a mais adequada, dada a sua robustez, facilidade de uso e alto nível de integração com o ambiente .NET.

O MVVM (Model-View-ViewModel) foi o padrão de design escolhido para a componente C# e .NET, facilitando deste modo a manutenção e permitindo alterações independentes na lógica e na interface.

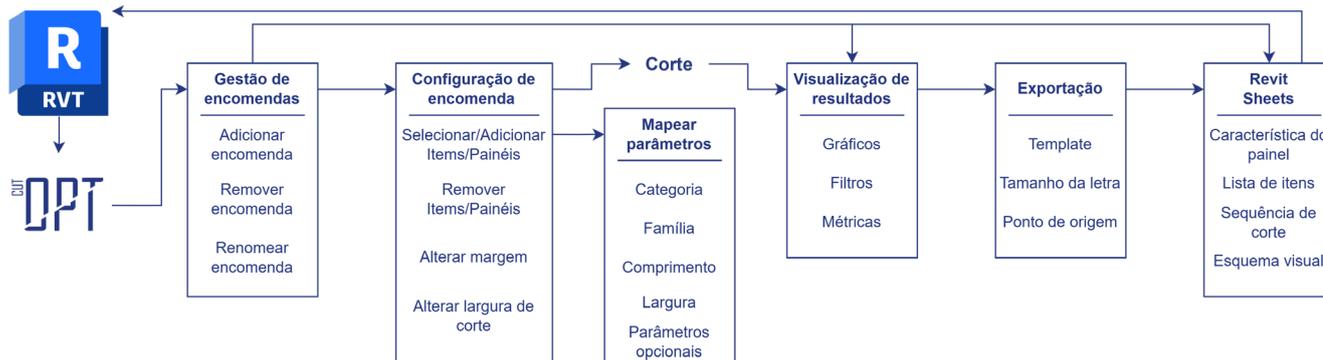
Relativamente ao motor de otimização, que contém e gere o algoritmo de corte bem como as heurísticas aplicadas, este foi desenvolvido na linguagem Python. Esta opção justifica-se por motivos de desacoplamento e acesso a bibliotecas especializadas. O desacoplamento é estratégico para a flexibilidade, manutenção, e escalabilidade da aplicação desenvolvida.

A aplicação é composta por três vistas principais: gestão de encomendas, configuração de encomenda, e visualização de resultados. Estas vistas comunicam e permitem a navegação apresentada na Figura 1, executando a persistência dos dados para o sistema de ficheiros local, sempre que existe uma alteração de contexto, ou o fecho do plugin.

Sempre que o plugin recebe um pedido de execução de corte de uma encomenda, este cria um processo do motor de otimização. Sendo assim, o plugin adota o padrão de arquitetura Subprocesso, em que o processo pai comunica com um processo filho trocando informação, tendo a vantagem de simplicidade e flexibilidade, permitindo a integração de diferentes tecnologias de forma eficaz.

## 2.2. Fluxo de utilização

O fluxo de utilização está em linha com os casos de uso do software pretendido, isto é, simula sequências de ação de um utilizador do plugin. Estas ações variam desde pequenas interações entre poucas funcionalidades, até interações de ponta a ponta, abrangendo todas as possibilidades do software. A Figura 1 explana uma interação de alto nível, ponta a ponta, por um utilizador, com o plugin concetualizado.



**Figura 1**  
Interação ponta a ponta com o plugin.

Em cada vista estão elencadas as principais ações disponíveis para o utilizador. No caso da interação apresentada, o utilizador pode perfazer todas as ações desde que ativa o plugin até que consulta as Revit Sheets exportadas, em cada uma das vistas. Após ativar o plugin, o utilizador é direcionado para a vista de gestão de encomendas. Depois de criar e nomear uma nova encomenda, o utilizador entra na vista de configuração de encomenda, onde poderá detalhar itens e painéis, bem como as relações com atributos do modelo BIM.

Em seguida, o utilizador ordena a execução do algoritmo de corte, e é encaminhado para a vista de visualização de resultados. Finalmente, o utilizador pode escolher exportar os resultados obtidos. Posteriormente à exportação, as Revit Sheets estarão disponíveis para consulta, na aba própria do software Revit.

### 2.3. Algoritmo e heurísticas aplicadas

Como referido anteriormente, o algoritmo Guillotine foi o escolhido para o desenvolvimento do plugin por melhor se adaptar ao típico corte da maioria das indústrias de matérias-primas usadas na construção. Ainda assim, o motor de otimização desenvolvido está preparado para aplicar outros algoritmos apropriados a problemas de Bin Packing, como Shelf, Maximal Rectangles, e Skyline [8].

Na presente versão, o motor executa várias combinações de heurísticas. Estas heurísticas referem-se a três momentos do fluxo: regras para ordenação dos itens para inserção (6); regra para a ordenação dos painéis de acordo com o item em inserção (12); regras para a divisão de um dado painel após inserção de um item no mesmo (6).

A Tabela 1 informa sobre as heurísticas aplicadas, selecionadas da literatura por empiricamente produzirem melhores resultados [8]. Para mais informação sobre as heurísticas aplicadas consultar o trabalho de Jylänki [8]. A cada execução do motor de otimização, este executa um total de 432 otimizações, o total de combinações de heurísticas, escolhendo aquela que resulta numa menor área desperdiçada de matéria-prima.

Tabela 1: Heurísticas aplicadas (A – ascendente; D – descendente)

Ordenação dos itens para inserção	Ordenação de painéis de acordo com item em inserção	Heurísticas de divisão de painel após inserção de item
A/D área	Melhor/Pior encaixe área	Minimizar/Maximizar Área
A/D lado curto	Melhor/Pior encaixe lado curto	Mais curto/longo eixo
A/D lado longo	Melhor/Pior encaixe lado longo	Mais curto/longo eixo residual
A/D perímetro		
A/D diferença entre lados		
A/D rácio entre lados		

### 3. Resultados

Os resultados do trabalho desenvolvido estão sumarizados no presente capítulo, com a apresentação da versão final do plugin proposto. Esta apresentação é feita pela sequência natural de vistas, com que o utilizador tem de interagir, desde que inicializa o plugin em ambiente Revit, até que pode consultar as telas finais produzidas. Estas vistas são detalhadas em seguida.

#### 3.1. Gestão de encomendas

A vista inicial do plugin é a de Gestão de Encomendas. Esta vista indica o projeto ativo no momento, e apresenta uma tabela com as encomendas existentes no ficheiro de persistência desde a última execução do plugin (Figura 2).

Cada encomenda apresenta o respetivo nome, indica a que projeto está associada, a data de criação, data da última alteração, número de itens associados, e se já foi alvo de otimização, o número de painéis utilizados.

Uma encomenda codificada com cor verde indica que os resultados da última otimização feita estão em linha com a configuração atual da encomenda. Se isto não se verificar a encomenda estará codificada a cor laranja, indicando a desatualização da mesma com os resultados da última otimização. Nesta vista o utilizador pode:

- Criar uma encomenda, em que apenas terá de lhe atribuir um nome. Todos os outros campos serão preenchidos automaticamente;
- Renomear uma encomenda criada;
- Eliminar uma encomenda;
- Configurar uma encomenda. Nesse caso, o utilizador será encaminhado para a vista de Configuração de Encomenda;
- Consultar os resultados da última otimização. Nesse caso, o botão de resultados passará a estar selecionável também e encaminhará o utilizador para a vista de Visualização de Resultados;

- Consultar as telas finais da última exportação de resultados. Nesse caso, botão de Revit Sheets estará selecionável e encaminhará o utilizador para a mesma dentro do ambiente Revit.

**Figura 2**  
Vista de Gestão de Encomendas.

Name	Project	Created on	Last changed	# items	# stocks used
Dezembro23	Empreendimento24	2/22/2024 3:58:45 PM	3/6/2024 2:19:15 PM	134	12
Janeiro24	Empreendimento24	3/6/2024 2:19:17 PM	3/6/2024 2:28:11 PM	206	10
Fevereiro24	Empreendimento24	3/6/2024 2:19:24 PM	3/6/2024 2:19:28 PM	0	0

● Up to date ● Outdated

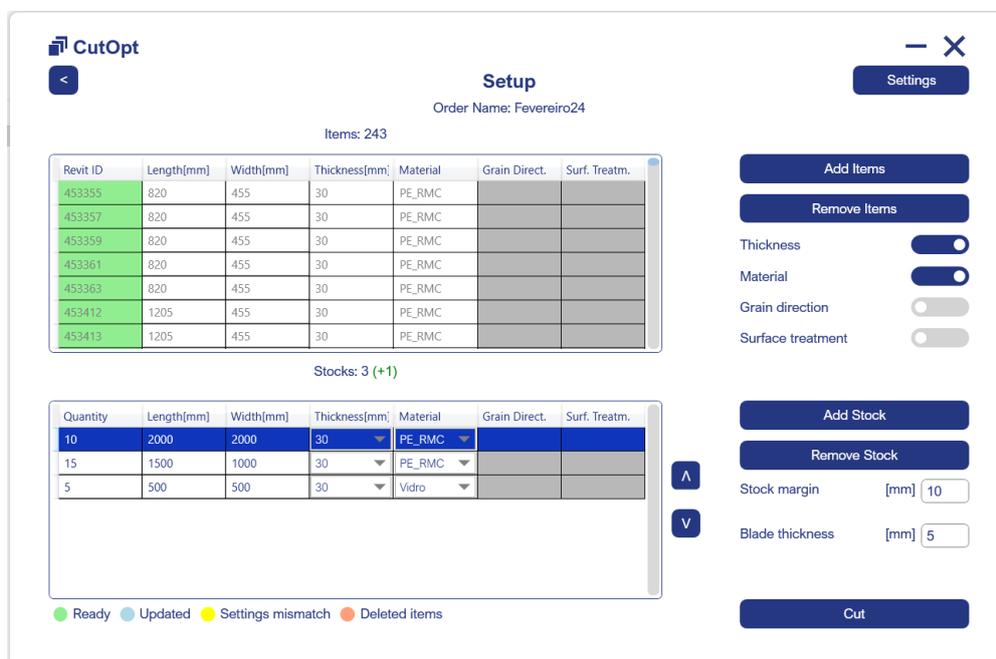
Add Order Remove Order Setup & Cut Results Revit Sheets

### 3.2. Configuração de encomenda

Após criada uma encomenda, a sua composição e estrutura é definida na vista de Configuração de Encomenda. A Figura 3 apresenta a vista em questão. Nesta vista o utilizador pode:

- Especificar as relações com os atributos do modelo BIM em análise. Nesse caso, o utilizador será encaminhado para uma janela própria, detalhada neste subcapítulo;
- Adicionar itens por janela de seleção diretamente no modelo BIM;
- Consultar detalhes sobre os itens selecionados. Se os parâmetros opcionais foram definidos nas relações com os atributos do modelo BIM, as respetivas colunas estarão preenchidas. Alternativamente, o utilizador tem a opção de dar toggle uma a uma. O toggle ativo indica que a propriedade será considerada na otimização. Todos os itens selecionados, que não tenham parâmetros do Revit associados a uma propriedade de corte, mas tenham o toggle ativo, deverão ter o valor dos respetivos campos indicado manualmente;
- Remover itens por seleção na tabela ou por janela de seleção diretamente no modelo BIM;
- Adicionar variações de painéis, definir quantidades, dimensões e selecionar de entre as diferentes opções dos parâmetros opcionais existentes no grupo de itens selecionados.

- Remover variações de painéis por seleção na tabela;
- Definir margem a utilizar nos painéis e largura da lâmina de corte.
- Requisitar a execução do motor de otimização. Neste caso, o utilizador será encaminhado para a vista de Visualização de Resultados.



**Figura 3**  
Vista de Configuração de Encomendas.

O código de cores nesta vista indica o estado dos itens incluídos na encomenda em configuração. A cor verde indica os itens já existentes na encomenda e prontos para a otimização. A cor azul, itens adicionados no presente evento de configuração e prontos para a otimização. A amarelo, itens existentes na encomenda, mas em que um ou mais atributos definidos no modelo BIM já não se encontram no mesmo. A laranja, itens existentes na encomenda, mas atualmente inexistentes no modelo BIM.

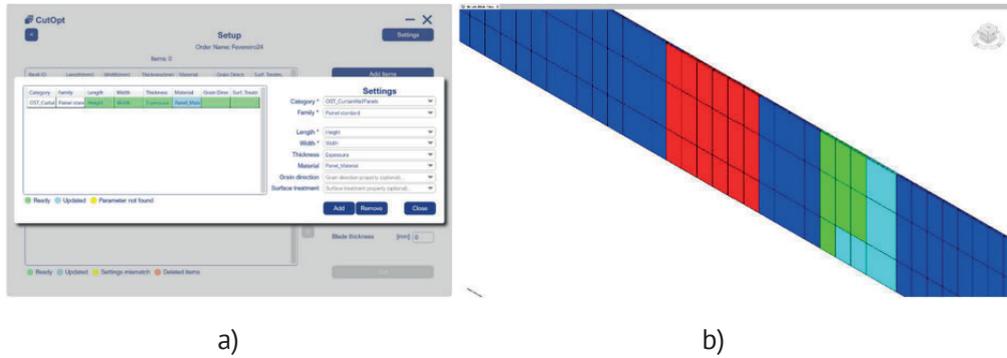
De forma a acrescentar contexto ao leitor, a fase de especificação das relações com o modelo BIM e seleção de itens são detalhadas em seguida. Numa primeira fase, o utilizador é instruído a especificar as relações com os atributos do modelo BIM em análise (Figura 4a).

Nesta interação, o utilizador define uma categoria, uma família da categoria selecionada, e os parâmetros relativos às dimensões de largura e comprimento dos itens que serão alvo de alocação à encomenda. Outros parâmetros estão disponíveis como espessura, material, direção do veio, e tratamento superficial. Estes últimos são opcionais. O utilizador pode definir a quantidade de combinações de atributos que lhe convier. O código de cores desta janela segue o mesmo racional da vista de Configuração de Encomenda.

Depois desta especificação, o utilizador pode selecionar itens por janela de seleção interagindo diretamente no modelo Revit (Figura 4b). O azul-claro indica itens

adicionados à presente encomenda no último evento de seleção. O azul-escuro indica itens disponíveis para serem adicionados, o verde indica itens já existentes na atual encomenda, o vermelho itens já adicionados a outras encomendas já configuradas.

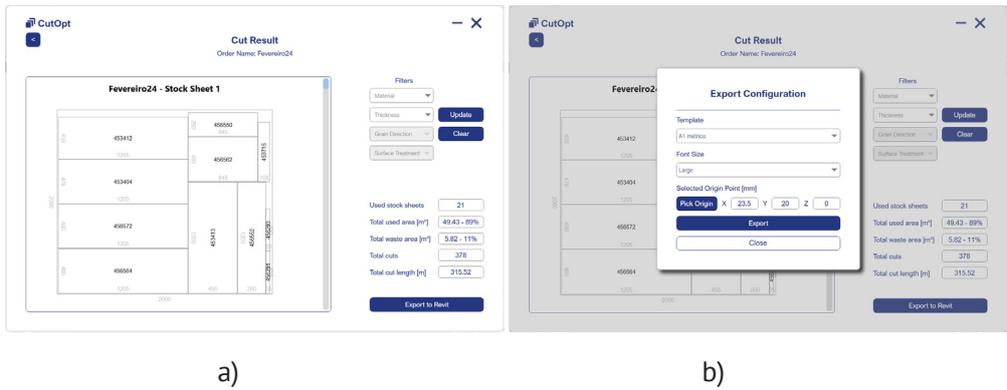
**Figura 4**  
a) Definição de relações com modelo BIM;  
b) Interface para seleção de itens.



### 3.3. Visualização de resultados

Após uma execução com sucesso do motor de otimização, o utilizador será encaminhado para a vista de Visualização de Resultados (Figura 5a).

**Figura 5**  
a) Vista de Visualização de Resultados; b) Menu de configuração de exportação.

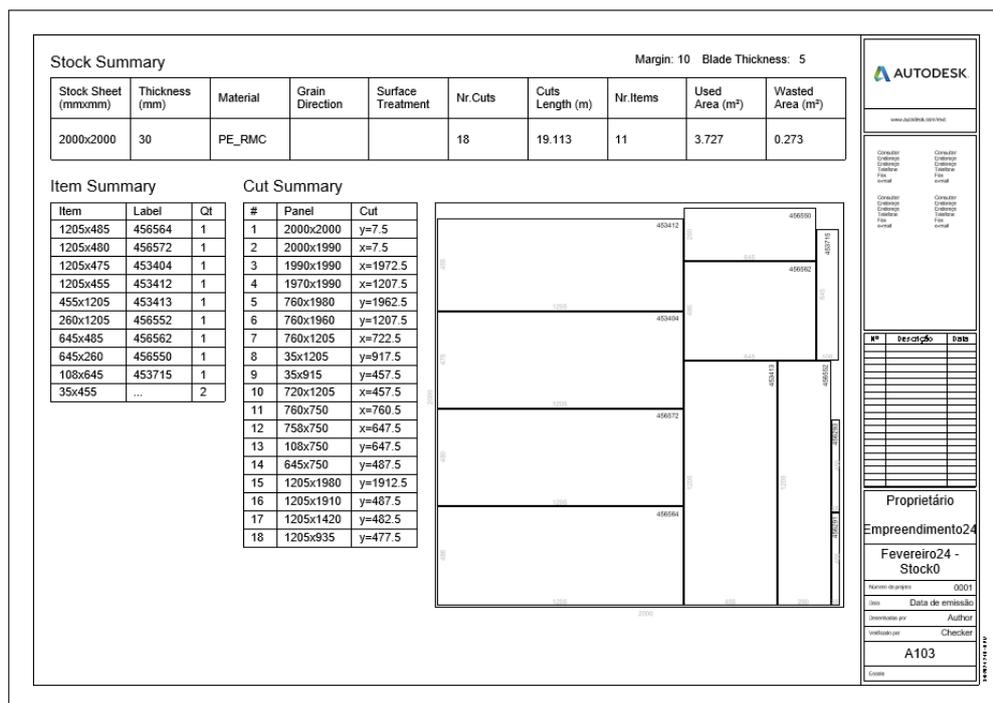


Nesta vista o utilizador pode:

- Consultar esquemas visuais da alocação feita;
- Filtrar pelos parâmetros opcionais definidos;
- Consultar as métricas resultantes do corte, como número de painéis usados, área total utilizada, área total desperdiçada, entre outras;
- Exportar os resultados obtidos para telas finais. Nesse caso, o utilizador será solicitado a indicar o template de Revit Sheets desejado, o ponto de origem para desenho, e o tamanho de letra pretendido (Figura 5b).

Após exportação, onde as telas são criadas como Revit Sheets na aba própria do software Revit, o utilizador será conduzido para a tela de sumário de todas as exportadas.

As telas finais são geradas de forma sequencial. Cada uma apresenta as características do painel associado, nomeadamente dimensões, parâmetros definidos e as métricas indicadas na vista anterior, mas para o painel em questão (Figura 6). Apresenta ainda uma listagem dos itens alocados ao painel, bem como a sequência de corte relativa, para contextualização do utilizador e auxílio à produção. Por último um esquema visual indica as dimensões do painel, a posição, dimensões e identificador único dos itens alocados.



**Figura 6**  
Exemplo de uma tela final como Revit Sheet após exportação.

## 4. Conclusões

O plugin proposto no presente trabalho foi desenvolvido com sucesso, sendo exemplo das sinergias passíveis de ocorrer entre automação, otimização e sustentabilidade no setor AEC, quando tecnologias externas são acopladas à metodologia BIM.

Os benefícios da automação são obtidos pelo fluxo de utilização proposto, em que a cadeia de valor começa no modelador, aquando da configuração dos parâmetros nos elementos do projeto BIM, e termina no operador do equipamento de corte, sem que haja uma disrupção ou necessidade de acoplar diversos softwares durante o ciclo de vida do processo.

Os benefícios da otimização e sustentabilidade são obtidos, em simultâneo, pelo uso de algoritmos robustos e combinações de heurísticas, com resultados empíricos promissores – a otimização pela vertente da redução de custos; e a sustentabilidade pela vertente de redução do desperdício de matérias-primas.

Trabalhos futuros incluem: a adoção de outros algoritmos de Bin Packing, com o objetivo de alargar o espectro de aplicação da ferramenta desenvolvida, e a consideração de algoritmos de nesting; e a comunicação direta dos resultados obtidos pelo motor de otimização a equipamentos de processamento de corte industrial.

## 5. Agradecimentos

Este trabalho tem o cofinanciamento do PRR – Plano de Recuperação e Resiliência e União Europeia – [www.recuperarportugal.gov.pt](http://www.recuperarportugal.gov.pt) (PRR - Investimento RE-C05-i02: Missão Interface - CoLAB). Ao projeto Sustainable Stone by Portugal - Valorização da Pedra Natural para um futuro digital, sustentável e qualificado, n.º 40, candidatura n.º C644943391-00000051, cofinanciado pelo PRR - Plano de Recuperação e Resiliência, República Portuguesa, e pela União Europeia (Next Generation EU)”.

## Referências

- [1] H. K. Biswas, T. Y. Sim, and S. L. Lau, “Impact of Building Information Modelling and Advanced Technologies in the AEC Industry: A Contemporary Review and Future Directions,” *Journal of Building Engineering*, vol. 82, p. 108165, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.108165>.
- [2] N. Gu and K. London, “Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry,” *Automation in Construction*, vol. 19, no. 8, pp. 988-999, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.002>.
- [3] C. M. Eastman, *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons, 2011.
- [4] S. Azhar, W. A. Carlton, D. Olsen, and I. Ahmad, “Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis,” *Automation in Construction*, vol. 20, no. 2, pp. 217-224, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.019>.
- [5] R. F. de Magalhães, Â. de M. F. Danilevicz, and T. A. Saurin, “Reducing construction waste: A study of urban infrastructure projects,” *Waste Management*, vol. 67, pp. 265-277, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.025>.
- [6] J. Liu, Y. Yi, and X. Wang, “Exploring factors influencing construction waste reduction: A structural equation modeling approach,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 276, p. 123185, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123185>.
- [7] Y. Xu, J. Wang, and Z. Yang, “Generic goal-oriented design for layout and cutting of floor tiles,” *Automation in Construction*, vol. 152, p. 104903, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104903>.

- [8] J. Jylänki, "A thousand ways to pack the bin—a practical approach to two-dimensional rectangle bin packing," *retrived from* <http://clb.demon.fi/files/Rectangle-BinPack.pdf>, 2010.
- [9] S. Hong, D. Zhang, H. C. Lau, X. Zeng, and Y.-W. Si, "A hybrid heuristic algorithm for the 2D variable-sized bin packing problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 238, no. 1, pp. 95-103, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.03.049>.
- [10] A. M. Del Valle, T. A. de Queiroz, F. K. Miyazawa, and E. C. Xavier, "Heuristics for two-dimensional knapsack and cutting stock problems with items of irregular shape," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 16, pp. 12589-12598, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.025>.
- [11] S. Wu, W.-Z. Lu, C. Qin, B. Wen, D. Wu, and Y. Xiang, "A goal-oriented planning approach for two-dimensional cutting components in architectural design: Coupling BIM and Parametric design (PD)," *Journal of Building Engineering*, p. 107156, 2023.
- [12] S. V. Romero, E. Osaba, E. Villar-Rodriguez, I. Oregi, and Y. Ban, "Hybrid approach for solving real-world bin packing problem instances using quantum annealers," *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1, p. 11777, 2023, doi: [10.1038/s41598-023-39013-9](https://doi.org/10.1038/s41598-023-39013-9).
- [13] A. Montibelli, "Application for solving Bin Packing and Cutting Stock problem." 2014.
- [14] H. Liu, C. Sydora, M. S. Altaf, S. Han, and M. Al-Hussein, "Towards sustainable construction: BIM-enabled design and planning of roof sheathing installation for prefabricated buildings," *Journal of Cleaner Production*, vol. 235, pp. 1189-1201, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.055>.



# A IA e o BIM: "Magia" ou algoritmos?

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.21>

**Luís Jacques de Sousa<sup>1</sup>, Alfredo Soeiro<sup>2</sup>,  
João Poças Martins<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *CONSTRUCT, FEUP-DEC, 4200-465 Porto; BUILT CoLAB, 4150-003 Porto, 0000-0002-0789-9368*

<sup>2</sup> *CONSTRUCT-FEUP, Porto, 0000-0003-4784-959X*

<sup>3</sup> *CONSTRUCT, FEUP-DEC, 4200-465 Porto; BUILT CoLAB, 4150-003 Porto, 0000-0001-9878-3792*

## Resumo

O interesse no desenvolvimento e aplicação de modelos de Inteligência Artificial (IA), suportada por algoritmos (AL), na Construção tem aumentado nos últimos anos. Este campo de desenvolvimento posiciona-se como a próxima grande área de pesquisa complementando o Building Information Modelling (BIM). Os modelos BIM são repositórios de informação que podem ser estruturais para a implementação de IA no âmbito da Construção. A IA apresenta diversos tipos de algoritmos (simbolísticos, relativistas, evolutivos, baesianos e analógicos), que tratam dados ou informação estruturada através de métodos ontológicos ou outros. Este artigo aborda o uso de IA conjuntamente com ferramentas BIM e analisa e descreve aplicações e desenvolvimentos recentes destas ferramentas na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Neste artigo pretende-se usar ferramentas de IA em casos concretos de projetos.

Este trabalho apresenta vários tipos de ferramentas de IA para ilustrar a existência de um ou mais tipos de IA que sejam adequados para uma sinergia com as ferramentas BIM. Desta forma pretende-se delinear previsões para desenvolvimentos futuros, a curto prazo destas tecnologias neste contexto na FEUP.

## 1. Introdução

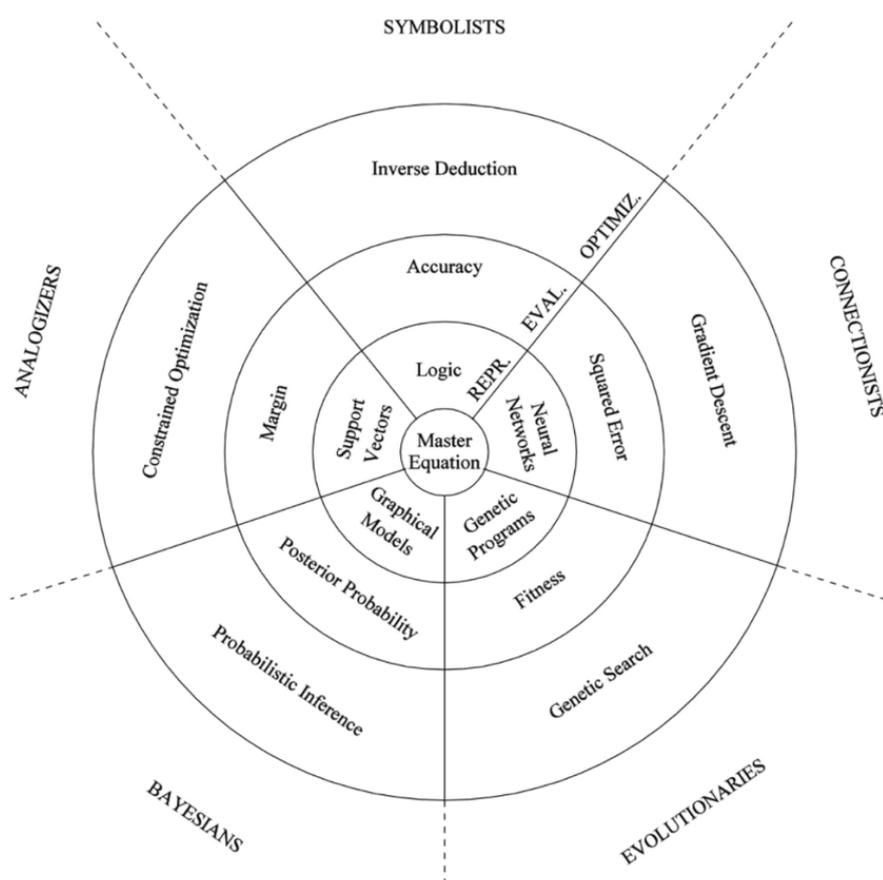
A IA tem-se tornado uma expressão frequentemente presente nos meios audiovisuais, em conferências, nos debates e nos eventos políticos e económicos. Neste artigo algumas das considerações designam a IA por AL uma vez que é com estes que a IA funciona. De facto, os termos associam-se a conceitos que não são a tradução perfeita destas ideias [1].

Por exemplo, um programa de há trinta anos que calculava as dimensões óptimas dum pórtico de betão armado plano em que os dados iniciais incluíam a posição dos nós da estrutura num referencial cartesiano, as cargas aplicadas e os deslocamentos admissíveis não era considerado IA. Era um programa de optimização de estruturas, mas no contexto atual poderá ser classificado um programa de IA. Acaba por definir sem intervenção do utilizador (artificialmente) a escolha da melhor solução (inteligência) entre muitas possíveis [1].

Estas mudanças de linguagem devem-se à influência dos meios de comunicação e ao modo como transmitem a informação. Esta vulgarização da utilização de algoritmos programados deve-se à facilidade de comunicação e de interfaces com os utilizadores e ao desenvolvimento das capacidades de armazenamento de dados e do seu tratamento. Ambas as razões estão associadas ao progresso das tecnologias digitais e ao acesso fácil à utilização nas várias atividades sociais e profissionais [2].

Alguns programas da chamada IA são conhecidos por serem grátis e de utilização fácil. O ChatGPT é um exemplo de uma aplicação baseada na arquitetura dos modelos linguísticos (LLM) que dão resposta a uma grande variedade de perguntas, simples ou complexas [3]. O ChatGPT utiliza um algoritmo de *reinforcement learning* designado de *Proximal Policy Optimization* (PPO) para emular o comportamento humano, tendo em conta uma base de dados composta por textos diversos e por interações anteriores com utilizadores [3]. É basicamente um algoritmo de optimização que minimiza o erro na resposta.

Como demonstrado na Figura 1, há outros tipos de modelos de algoritmos para além do LLM que é do tipo Simbolístico e que usa os métodos da dedução inversa ou redes neuronais como ferramenta essencial. As outras quatro famílias são os Analógicos, os Baesianos, os Evolutivos e os Relativistas [2].



**Figura 1**  
Diversos tipos de algoritmos de IA.  
Fonte: [2].

Os algoritmos Analógicos baseiam-se na formulação duma função a otimizar e nas restrições impostas à solução e utiliza métodos de optimização. Os algoritmos Bayesianos são métodos probabilísticos que usam redes para determinar a melhor solução considerando as relações entre as diferentes opções. Os algoritmos Evolutivos usam os algoritmos genéticos para encontrar a melhor solução. Os algoritmos Relativistas utilizam o método do gradiente máximo para encontrar a melhor solução.

O restante artigo está organizado em três principais secções: na Secção 2 discute-se as implicações dos algoritmos de IA no futuro próximo da Construção, particularmente no que diz respeito à sua aplicação em conjunto com tecnologias BIM, Na Secção 3 realçam-se três artigos que aplicaram algoritmos de IA para optimização problemas no âmbito da Construção. Estes estudos utilizaram modelos modernos que têm por base o recurso a algoritmos de optimização e equações matemáticas existentes há vários anos para realizarem os seus cálculos e fazer as suas previsões. Por fim, na Secção 4, apresenta-se uma discussão acerca das principais implicações e caminhos de pesquisa futuros para estas aplicações no sector da Construção.

## 2. Potencialidades de IA para o seu aproveitamento em modelos BIM

A utilização de IA pode originar sinergias que podem levar a melhores projetos e construções. Os exemplos apresentados neste trabalho são apenas uma pequena amostra de como a combinação de técnicas de IA e de BIM pode beneficiar a construção. É importante referir que neste contexto e segundo a norma ISO 19650, o BIM é descrito como um repositório de informação federado, incluindo modelos e outras estruturas de dados. A constituição duma base de dados adequada a partir destes repositórios de dados pode levar a uma aprendizagem dos programas de IA para identificar tendências em diferentes aplicações [4].

Em termos de gestão da prevenção de acidentes, a utilização da informação disponível sobre acidentes na construção poderá levar a uma análise das medidas de prevenção mais adequadas [5]. Na verdade, os registos disponíveis podem ajudar a identificar tarefas e cenários. Depois de identificadas as medidas preventivas, as técnicas de otimização das medidas podem procurar medidas eficazes e menos dispendiosas com a utilização de algoritmos de IA. O conjunto ideal de medidas preventivas pode ser adotado para obter a combinação certa de eficácia e de custo. É importante realçar que é necessário encontrar um compromisso óptimo entre as medidas preventivas e a segurança, uma vez que os recursos humanos e materiais são limitados nesta área. A ideia de prevenir todos os acidentes com recurso a IA é insustentável [4].

Um segundo exemplo é a possibilidade de escolher os materiais adequados que sejam óptimos para a combinação de requisitos de sustentabilidade, térmicos e acústicos. Os algoritmos de IA podem fornecer informações sobre as propriedades físicas dos materiais, das técnicas e dos dados de sustentabilidade como ciclo de vida e CO<sub>2</sub> embebido [6].

Os algoritmos de IA continuam a necessitar do envolvimento de projetistas, construtores, dono de obra e entidades públicas para avaliar das características da solução óptima do algoritmo [7]. Os algoritmos de IA podem tentar encontrar a solução que satisfaça as restrições e os critérios de optimização [4].

Estes exemplos ilustram algumas possibilidades que podem ser exploradas através da integração de algoritmos de IA com modelos BIM, tirando partido do facto que contêm a informação necessária para pesquisar a solução óptima de acordo com os critérios e com a geometria da construção. O tipo de algoritmos a utilizar será condicionado pelos desempenhos de cada um e pela capacidade de armazenamento e de interface do programa de BIM adoptado. No seguinte capítulo, são discutidos em maior detalhe, algumas das iniciativas recentes desenvolvidas na FEUP em torno desta temática. O primeiro trabalho utiliza AL para a identificação de elementos construtivos em nuvens de pontos para importação automática para modelos BIM. O segundo utiliza estas estruturas de dados para a previsão do cumprimento de contratos de obras públicas. Finalmente, o terceiro prevê a aplicação de AL para a classificação automática de tarefas de mapas de quantidades e trabalhos.

### 3. Aplicação de modelos IA na Construção: casos FEUP

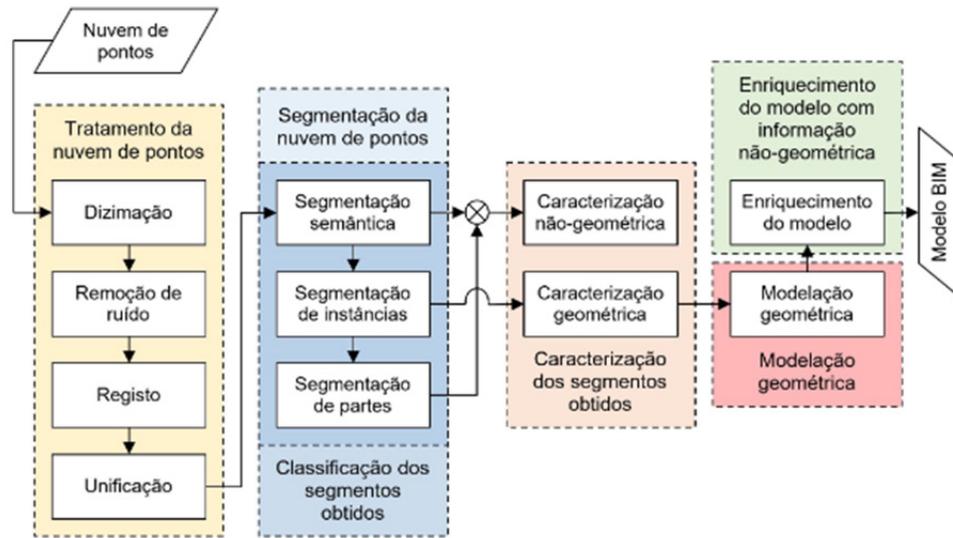
#### 3.1. Algoritmos para automatização do processo Scan-to-BIM e análise energética

Na indústria AEC na Europa existe um impulso para o aumento da eficiência energética através da redução do consumo [8]. Dada a contribuição significativa dos edifícios no consumo global de energia, a reabilitação é crucial para estas metas. Neste prisma, o BIM tem sido frequentemente vinculado a essa pesquisa, sendo considerado uma parte essencial da solução [9].

L. Sanhudo *et. al.* propuseram uma metodologia com recurso a IA que utiliza o BIM como base de dados centralizada, armazenando todos os dados relativos a um edifício que podem depois ser analisados num software de análise energética de forma a avaliar métodos de reabilitação [10]. Assim, a tecnologia Scan-to-BIM permite obter o modelo BIM do edifício a reabilitar de forma precisa e relativamente barata. A metodologia, como visto na Figura 2, consiste em seis tarefas separadas: (1) tratamento da nuvem de pontos; (2) segmentação da nuvem de pontos tratada; (3) classificação dos segmentos como elementos construtivos; (4) caracterização dos elementos construtivos identificados; (5) modelação geométrica; e (6) enriquecimento do modelo com informações não geométricas [10].

O processo de tratamento da primeira tarefa inclui a dizimação das nuvens de pontos, a limpeza de ruído, registo e unificação das nuvens de pontos. A segunda e terceira tarefas, que decorrem em simultâneo, utilizam um algoritmo de IA de rede convolucional para efetuar as segmentações de partes, de instâncias e semântica. A quarta tarefa efetua a caracterização geométrica dos elementos construtivos recolhidos, obtendo características como: altura; comprimento; largura; centro; orientação entre outros. Esta tarefa recorre também a características não geométricas tais como classe semântica e de instância; partes constituintes; rugosidade; refletividade e cor da superfície do elemento, que podem ser usadas para identificar os materiais visíveis. As tarefas cinco e seis foram implementadas no software Autodesk Revit com Dynamo. Atualmente o modelo consegue identificar 13 tipos de elementos diferentes: tecto; estante, pilar, viga, parede, janela, sofá, mesa, cadeira, quadro, porta, pilar e ruído.

Esta metodologia foi validada em diferentes casos de estudo tendo obtido valores próximo de 87 % na precisão da segmentação semântica de elementos [10].



### 3.2. Algoritmo de IA para previsão de conformidade financeira em contratos públicos em Portugal

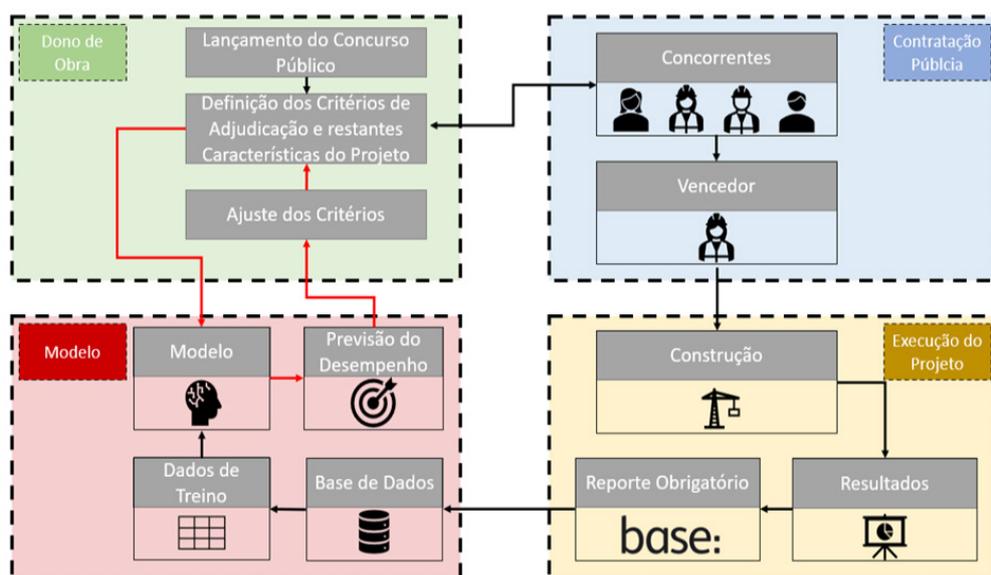
O processo de adjudicação de obras públicas em Portugal, envolve a avaliação de propostas com base em fatores económicos, temporais e de qualidade. Estas avaliações, vinculativas contratualmente, podem impactar significativamente o desempenho da obra e são frequentemente tomadas em prazos apertados. Ferramentas de apoio à decisão com recurso a IA podem auxiliar o dono de obra na escolha do adjudicatário [11, 12]. No entanto, a complexidade e falta de padronização nos documentos de projetos de construção têm sido desafios para prever com precisão o cumprimento do orçamento [13, 14].

Alavancando-se na obrigatoriedade de reporte dos resultados de projetos públicos em Portugal, o método proposto por L. Jacques et al. utiliza um modelo de redes neuronais artificiais para prever a conformidade financeira dos contratos [15-17]. Como demonstra a Figura 3, este método visa auxiliar o dono de obra na escolha dos critérios de adjudicação, através da previsão da conformidade económica do contrato com base nas características do projeto e no historial de projetos semelhantes.

Assim, o modelo utiliza uma série de características destes contratos, tais como: critério de adjudicação, preço base, prazo de submissão, prazo de execução, número de concorrentes, entre outros, como variáveis de entrada. Com recurso a uma base de dados com mais de 4700 contratos, o algoritmo foi treinado para realizar as previsões do desempenho da obra, a variável de saída, obtendo uma precisão de 68%.

Estes resultados demonstram a imprevisibilidade dos orçamentos das obras públicas pois o nível de precisão da ferramenta não é suficiente para garantir certezas quanto a conformidade do contrato. Ainda assim, pode fornecer informações valiosas sobre os critérios de adjudicação mais eficazes e realizar previsões consideravelmente

mais rápido que humanos, contribuindo para uma definição eficiente dos critérios de adjudicação.



**Figura 3**  
Implementação do modelo no processo de contratação pública [15].

### 3.3. Modelo IA para elaboração de orçamentos com recurso a classificação automática de tarefas em mapas de quantidades e trabalhos

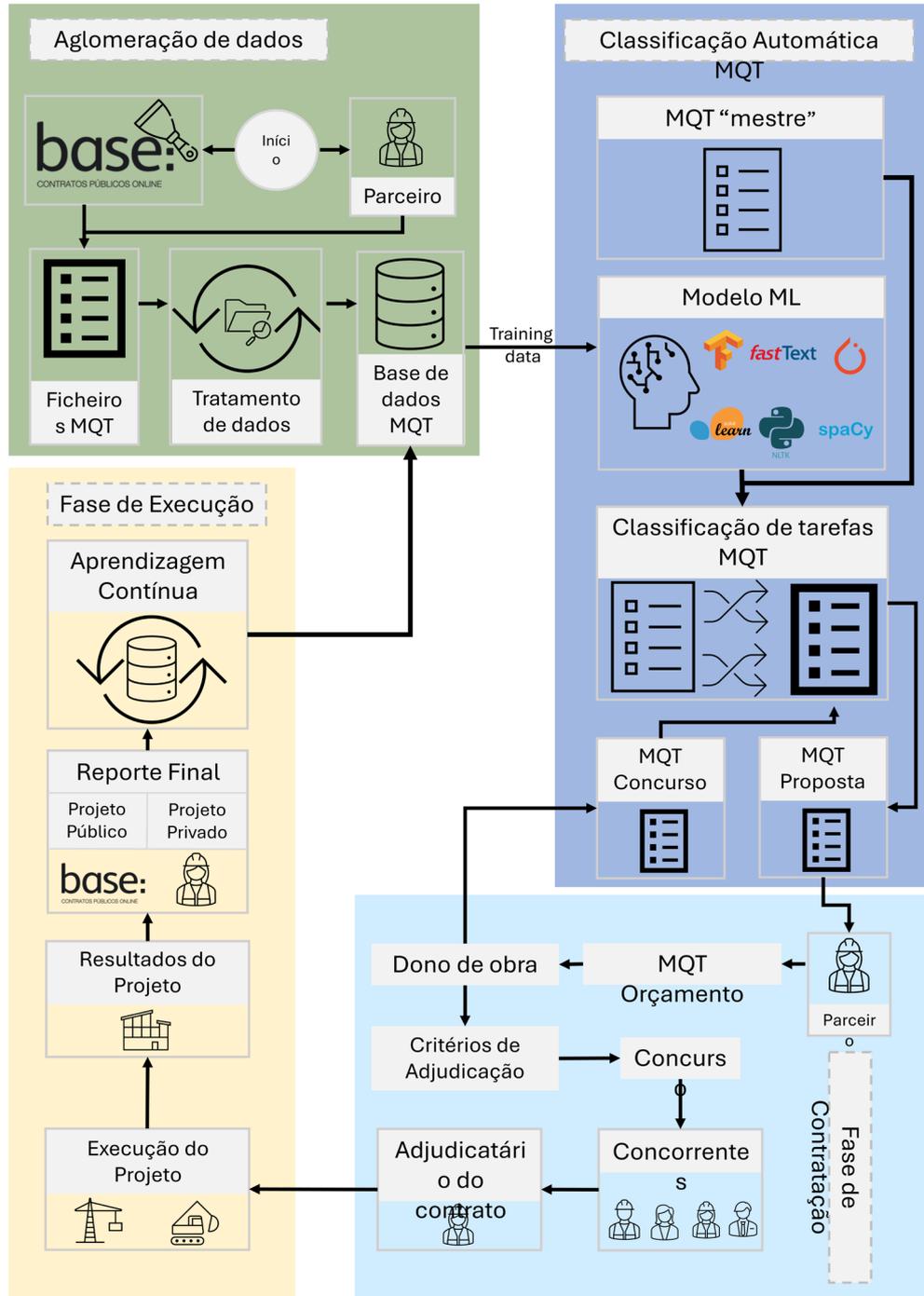
Durante a fase de adjudicação, o empreiteiro geral tem de elaborar uma proposta de orçamento com base nas tarefas de um mapa de quantidade e trabalhos (MQT) facultado pelo dono de obra [7]. Este processo de classificação é habitualmente efetuado por um técnico em prazos exigentes, e por isso estão especialmente sujeitos a erros e omissões [13, 18].

O processamento de linguagem natural (NLP) pode ajudar estes técnicos através da automação da classificação entre as tarefas do MQT do concurso com o MQT padrão da empresa concorrente [19].

Como esquematizado na Figura 4, o processo começa com a acumulação de ficheiro MQT através de um algoritmo que os colhe automaticamente de repositórios online, tarefa que inclui também todo o tratamento dos dados recolhidos [20-22]. As tarefas que compõem os MQTs, serão utilizadas como dados de treino do algoritmo de IA. Posteriormente serão testadas diferentes tipologias de modo a saber qual algoritmo melhor se ajusta a este problema. O algoritmo eleito será responsável por classificar tarefas entre MQTs para criar uma proposta, que será devolvida ao dono de obra para consideração durante o processo de adjudicação [23].

**Figura 4**

Metodologia para automatização da classificação de tarefas entre mapas de quantidades e trabalhos [23].



O modelo prevê também um mecanismo de aprendizagem contínua onde os MQTs de proposta gerados pelo modelo devem ser carregados no banco de dados, aumentando assim a quantidade de dados históricos disponíveis para o algoritmo de classificação de forma a melhorar a qualidade das previsões ao longo do tempo [23].

Por fim, será desenvolvido e testado um fluxo de trabalho que implementa esse modelo no processo de criação de MQTs para orçamentação e concursos. Este fluxo de trabalho será avaliado no contexto do processo de orçamentação para analisar as

vantagens e desvantagens em comparação com os métodos tradicionais e pesquisas similares [23].

#### 4. O futuro da IA para o setor AEC e o BIM

Neste trabalho foi realizado uma descrição de três trabalhos desenvolvidos na FEUP em torno da temática da IA e da sua aplicação em ambiente BIM. Neste contexto, e segundo a ISO 19650 o BIM funciona não só como uma mera representação geométrica de um projeto, mas como uma estrutura de dados federada, podendo existir representação geométrica ou não.

No âmbito da metodologia Scan-to-BIM os algoritmos IA têm a mais valia de automatizar a obtenção de modelos BIM devidamente classificados diretamente a partir do levantamento de nuvens de pontos. Este tipo de aplicação é essencial para viabilizar a digitalização do ambiente construído existente para o qual escasseiam modelos BIM.

No que diz respeito à previsão da conformidade financeira de contratos de empreitadas de obras públicas, a IA pode dar uma importante ferramenta de apoio a decisão de quais os critérios de adjudicação a utilizar na fase de contratação. Este estudo demonstra a complexidade de realizar previsões com base em dados históricos e propõe uma ferramenta que, embora não permita dar garantias acerca da conformidade dos contratos, apoia as decisões dos técnicos, apresentando instantaneamente indicações acerca de potenciais riscos.

Por fim, na Secção 3.3 é proposto um método para a elaboração de uma ferramenta que permite reduzir o tempo de elaboração de MQT por parte de técnicos de orçamentação através da correta classificação de tarefas provenientes de MQT de concurso com os MQTs reconhecidos pela empresa concorrente. Esta ferramenta é relevante porque se insere na fase de concurso, que é caracterizada por prazos muito austeros, pelo que a automatização de tarefas repetitivas permite reduzir significativamente a preparação de documentos de concurso.

Adicionalmente, este trabalho faz uma reflexão entre a designação de IA e AL, ou estatística computacional e como todos os conceitos se assemelham uma vez que IA se pode reduzir a inferências e representações matemáticas de dados em diferentes formatos [24].

A utilização de IA nos métodos digitais usando BIM implica uma formação específica dos utilizadores de BIM dedicada aos algoritmos usados. Só é possível tirar partido dos algoritmos existentes se se compreender como funcionam. A escolha dos algoritmos nesta sinergia só será eficaz e eficiente se houver um domínio das potencialidades dos algoritmos e das ferramentas BIM. É frequente escrever-se e falar sobre o uso de IA sem conhecimento dos algoritmos que compõem a IA, sendo o discurso baseado nos resultados sem se abordar os processos. É imprescindível proporcionar formação aos trabalhadores da indústria da Construção nesta área, visto que se

antecipa que estas ferramentas não irão substituir a atividade laboral existente, mas sim agilizar processos repetitivos, dar apoio a decisões e auxiliar no design criativo. A função da IA será complementar e otimizar o desempenho, em vez de substituir o trabalho por completo.

No contexto dos trabalhos em curso na FEUP, prevê-se dar prioridade ao desenvolvimento de datasets estruturados para a utilização de ferramentas IA. De facto, a indústria da Construção, em contraste com outras atividades económicas similares carece de bases de dados preparadas que descrevem os seus processos e produtos. Assim, considera-se que o desenvolvimento destes repositórios de dados é um contributo científico importante no curto prazo, dado que possibilita o desenvolvimento de modelos IA, como os apresentados neste artigo.

## Referências

- [1] A. Soeiro, "Optimization of reinforced concrete frames using integrated analysis and reliability," Doctoral Thesis, University of Florida, USA, 1989, <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/104620/2/195482.pdf> (accessed February 2024).
- [2] P. Domingos, *The Master Algorithm: how the quest for the ultimate learning machine will remake the world*. Penguin Books, 2017.
- [3] Open AI. "Introducing ChatGPT", <https://openai.com/blog/chatgpt>. (accessed February 2024).
- [4] A. Soeiro, J. Martins, A. Sidani, "Optimization tools and BIM: A marriage with a future?," 4.º congresso português de 'Building Information Modelling' vol. 2 – ptBIM p. 73-80, doi: 10.21814/uminho.ed.77.6. 2022
- [5] L. Sanhudo *et al.*, "Activity classification using accelerometers and machine learning for complex construction worker activities," *J. Build. Eng.*, vol. 35, 11/01 2020, doi: 10.1016/j.job.2020.102001.
- [6] M. N. Amin, W. Ahmad, K. Khan, A. Ahmad, S. Nazar, A. A. Alabdullah, "Use of Artificial Intelligence for Predicting Parameters of Sustainable Concrete and Raw Ingredient Effects and Interactions," *Materials*, vol. 15, no. 15, p. 5207, 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/15/5207>.
- [7] L. Jacques de Sousa, J. Poças Martins, J. Santos Baptista, L. Sanhudo, "Towards the Development of a Budget Categorisation Machine Learning Tool: A Review," in *Trends on Construction in the Digital Era*, Guimarães, Portugal, A. Gomes Correia, M. Azenha, P. J. S. Cruz, P. Novais, and P. Pereira, Eds., 2023// 2023: Springer International Publishing, pp. 101-110, doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-20241-4>.

- [8] European Parliament and Council of the European Union, "Directive (EU)2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency" *Official Journal of the European Union*, vol. 156, 2018.
- [9] Ö. Göçer, Y. Hua, and K. Göçer, "A BIM-GIS integrated pre-retrofit model for building data mapping," *Building Simulation*, vol. 9, no. 5, pp. 513-527, 2016/10/01 2016, doi: 10.1007/s12273-016-0293-4.
- [10] L. Sanhudo, J. Martins, N. Ramos, *Proposta de algoritmos de inteligência artificial para automatização do processo Scan-to-BIM*. 2022, pp. 419-429.
- [11] M. S. A. Aman, S. Azeanita, "Building Information Modelling for Project Cost Estimation," *Recent Trends in Civil Engineering and Built Environment*, vol. 3, no. 1, pp. 621-630, 12/04 2021. [Online]. Available: <https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/rtcebe/article/view/3234>.
- [12] S. Moon, S. Chi, S.-B. Im, "Automated detection of contractual risk clauses from construction specifications using bidirectional encoder representations from transformers (BERT)," *Automation in Construction*, vol. 142, p. 104465, 2022/10/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104465>.
- [13] P. Jafari, M. Al Hattab, E. Mohamed, S. Abourizk, "Automated extraction and time-cost prediction of contractual reporting requirements in construction using natural language processing and simulation," *Applied Sciences (Switzerland)*, Article vol. 11, no. 13, 2021, Art no. 6188, doi: 10.3390/app11136188.
- [14] H. Elhegazy *et al.*, "Artificial Intelligence for Developing Accurate Preliminary Cost Estimates for Composite Flooring Systems of Multi-Storey Buildings," *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 2021, doi: 10.1080/13467581.2020.1838288.
- [15] J. P. M. Luís Jacques de Sousa, Luís Sanhudo, "Previsão da conformidade de projectos de construção pública em Portugal com recurso a aprendizagem automática," *5.º Congresso Português de Building Information Modelling (ptBIM)*, 2024.
- [16] I. d. M. P. d. l. e. d. Construção. "Portal Base." <https://www.base.gov.pt/> (accessed April 2023, 2023).
- [17] DRE. "Diário da República Electrónico." <https://dre.pt/dre/home> (accessed January 2023, 2023).
- [18] J. P. d. S. P. Martins, "Modelação do fluxo de informação no processo de construção : aplicação ao licenciamento automático de projectos.," no. Porto, 2009.

- [19] N. Wang, R. A. Issa Raja, and J. Anumba Chimay, "NLP-Based Query-Answering System for Information Extraction from Building Information Models," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 36, no. 3, p. 04022004, 2022/05/01 2022, doi: 10.1061/(asce)cp.1943-5487.0001019.
- [20] L. Jacques de Sousa, J. Martins, L. Sanhudo, "Tackling the Data Sourcing Problem in Construction Procurement with File Scraping Algorithms," 2023, doi: 10.3390/iocbd2023-15190.
- [21] L. Jacques de Sousa, J. Poças Martins, L. Sanhudo, "Base de dados: Contratação pública em Portugal entre 2015 e 2022," presented at the Construção 2022, Guimarães, Portugal, 2022.
- [22] L. Jacques de Sousa, J. Poças Martins, L. Sanhudo, "Portuguese public procurement data for construction (2015–2022)," *Data in Brief*, vol. 48, p. 109063, 2023/06/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109063>.
- [23] L. Jacques de Sousa, J. Martins, L. Sanhudo, "Framework for the Automation of Construction Task Matching from Bills of Quantities using Natural Language Processing," presented at the 5th Doctoral Congress in Engineering (DCE 23'), Porto, Portugal, June 2023, 2023.
- [24] J. H. Friedman, "The Role of Statistics in the Data Revolution?," *International Statistical Review*, vol. 69, no. 1, pp. 5-10, 2007, doi: /10.1111/j.1751-5823.2001.tb00474.x.

# Avaliando o potencial da integração da Inteligência Artificial ao Building Information Modelling (BIM) na Indústria 4.0

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.22>

**Paulo Santos<sup>1</sup>, Isabela Ferreira<sup>2</sup>, Breno Cortez<sup>3</sup>,  
Gabriela Nascimento<sup>4</sup>, Michele Tereza Marques Carvalho<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> *Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 0000-0002-9801-1423*

<sup>2</sup> *Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 0000-0002-3918-5669*

<sup>3</sup> *Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 0000-0002-1828-7586*

<sup>4</sup> *Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 0009-0003-4678-1068*

<sup>5</sup> *Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 0000-0001-7969-9341*

## Resumo

O BIM desempenha um papel crucial na Indústria 4.0, trazendo desafios significativos no gerenciamento e análise de dados. O avanço tecnológico facilita a obtenção de dados, viabilizando práticas de aprendizado profundo, como visão computacional, previsão de defeitos e análise de riscos. Este estudo investigou técnicas de inteligência artificial (IA) no contexto do Building Information Modelling (BIM), visando explorar linhas de conhecimento através de uma revisão sistemática e crítica de produções científicas. Os resultados de 101 publicações destacam a importância da padronização e gestão de dados na integração com plataformas de gerenciamento. Estas estão focadas na etapa de facilities, monitoramento, uso e manutenção de ambientes construídos, utilizando sensoriamento e escaneamento de dados, além de propostas para prevenir erros durante o projeto e construção. Paralelamente são discutidas tendências, como enriquecimento semântico IFC, obtenção de dados por IA e uso de Gêmeos Digitais (DT) na automatização de informações. Este trabalho serve de recurso para pesquisadores, profissionais da construção e tomadores de decisão interessados nos avanços na gestão da informação em BIM com IA. Também propõe fluxos de aprendizagem a partir do mapeamento do estado da arte, análise de cluster e redes de conexão por citações e palavras-chave, fornecendo insights para pesquisas futuras.

## 1. Introdução

A convergência entre os modelos BIM e tecnologias avançadas tem demonstrado significativa relevância na Indústria 4.0, um setor em transformação substancial impulsionada pelas técnicas IAs que delineiam seu futuro [1], possibilitando auxílios na tomada de decisões para resolução de problemas específicos, desde a gestão de ativos até o gestão ampla de todo o processo de construção.

Este estudo tem o objetivo de identificar as principais aplicações de técnicas de IA para BIM na Indústria 4.0, fornecendo insights para pesquisas futuras. Dessa forma, análise das publicações tem o propósito de responder às seguintes questões:

- Quais são as principais tendências de pesquisa possibilitadas pela integração do BIM e IA?
- Qual é o nível de evolução do ponto de vista científico e tecnológico?
- Quais aplicações, dificuldades e aprendizados adquiridos, que podem ser replicados?

## 2. Metodologia

O método adotado abordou uma análise bibliométrica e uma revisão sistemática da literatura (SLR), oferecendo uma perspectiva abrangente das técnicas e abordagens de IA aplicadas ao BIM. Os bancos de dados Web of Science e Scopus foram explorados para mapear o panorama das publicações de periódicos, atas de congressos e capítulos de livros. Para a consulta de teses e dissertações, as plataformas OATD.org e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) foram utilizadas.

Para a preparação da pesquisa, empregamos a *string* de busca (“*machine learning*” OR “*deep learning*” OR “*pattern recognition*” OR “*neural networks*” OR “*real time systems*”) AND “*digital twins*” AND (“BIM” OR “*building information modelling*” OR “*building information model*” OR “*building information management*”) sem delimitação temporal específica, abarcando, assim, a totalidade do período de investigação.

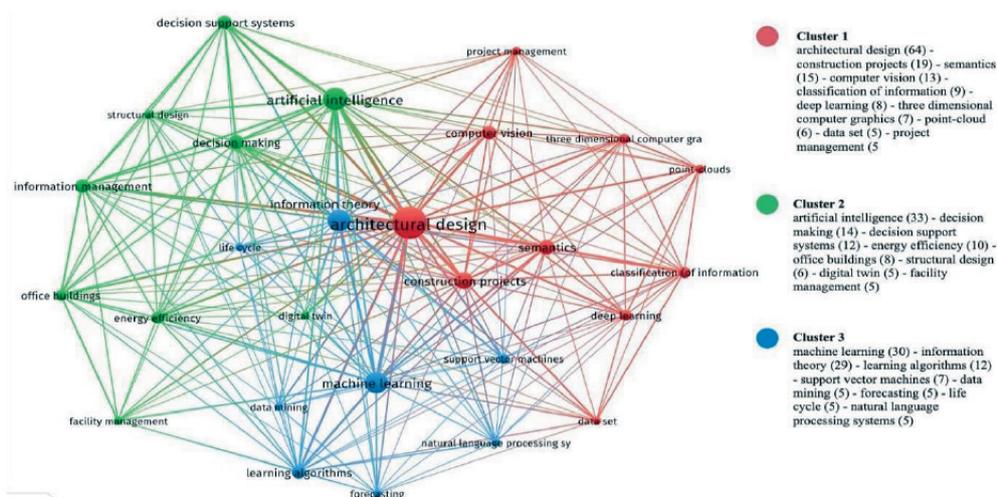
Foram identificados 731 artigos na base Scopus e 140 na Web of Science, totalizando 871 produções. Após a remoção de duplicatas e a revisão dos títulos, resumos e palavras-chave, restaram 93 produções: 88 artigos de periódicos, 3 de conferências e 2 capítulos de livros. As produções excluídas focavam em integração de dados ambientais e geotécnicos e monitoramento de pessoas com COVID, sem associação direta à Indústria 4.0. Posteriormente foram adicionadas 5 teses de doutorado e 3 dissertações de mestrado, resultando em 101 publicações selecionadas para análise, disponibilizados em um repositório Zenodo [2].

### 3. Resultados

O método adotado por esta pesquisa compreende em uma análise bibliométrica e uma SLR. Esse processo é fundamental para a compreensão e identificação de padrões, tendências e lacunas na pesquisa.

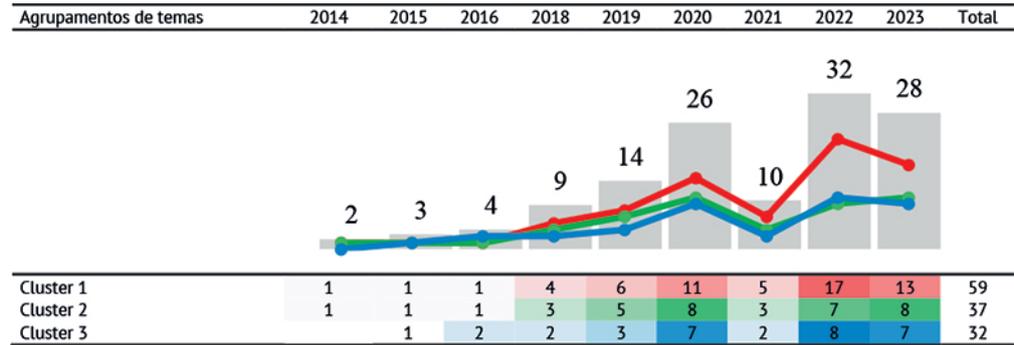
Neste estudo, utilizamos o visualizador VOSViewer para o levantamento e análise dos dados das publicações. Primeiramente, criamos um mapeamento das redes bibliométricas, apresentado na Figura 1, identificando 3 agrupamentos (clusters). O tamanho do nó baseia-se na frequência de ocorrências de palavras-chave e a espessura entre ligações representa o número de citações entre as publicações.

O *cluster* vermelho (10 termos) trata da **classificação da informação**, focando em visão computacional e aprendizado profundo para coletar e classificar dados. Seu objetivo é o planejamento e monitoramento da produção. Engloba termos como classificação de informações, conjuntos de dados e nuvens de pontos, conectando técnicas de visão computacional e aprendizado profundo a soluções para o planejamento e monitoramento de produção. O *cluster* verde (9 termos), concentra-se na **gestão da informação**, com um enfoque em técnicas para gestão de facilities e gêmeos digitais, visando o monitoramento e avaliação do desempenho dos ativos. Este agrupamento também aborda processos pós-obra, como gestão de facilities, análises estruturais, gêmeos digitais e indicadores-chave de desempenho, utilizando técnicas de suporte à decisão e análise de multicritérios. O terceiro *cluster*, na cor azul (8 termos) é sintetizado na **mineração de dados** para previsão de riscos. As pesquisas estão focadas em aprendizado supervisionado para identificação de possíveis danos ao longo do ciclo de vida dos ativos, cálculo de matriz de riscos. A Tabela 1 traz uma visão ampla do período de publicações.



**Figura 1**  
Mapa de co-ocorrência para redes bibliométricas.

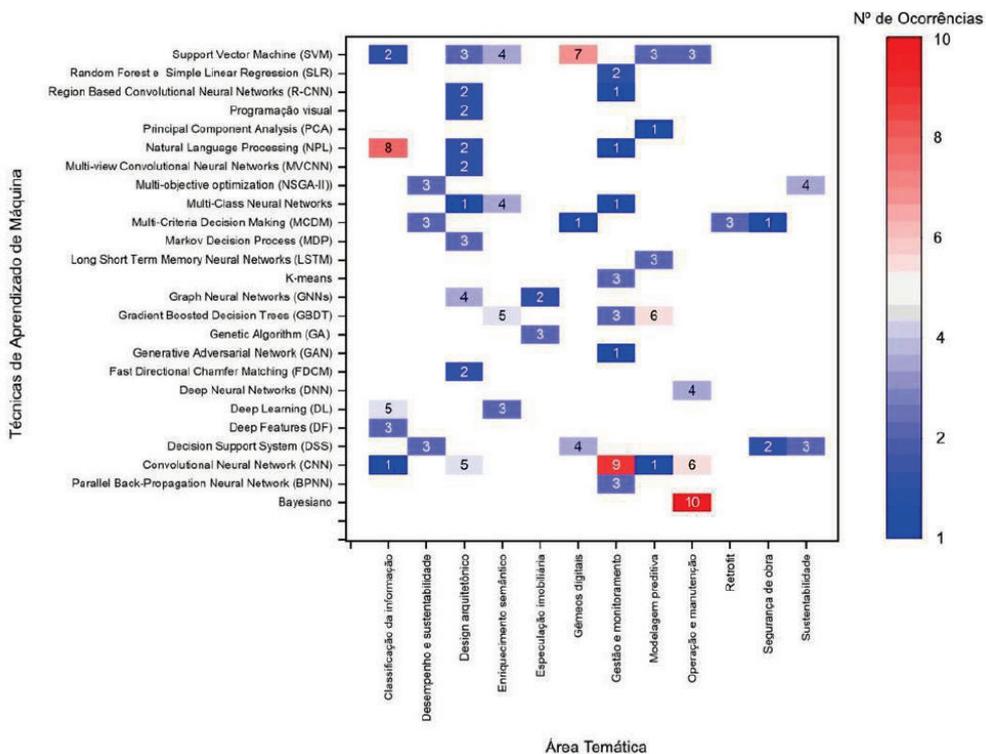
Tabela 1: Status geral das publicações, separados por agrupamento de temas



Em termos de inovações tecnológicas, as tendências de pesquisa estão relacionadas à gestão de ativos do ambiente construído, por relação direta à Internet das Coisas (IoT), possibilitadas pela integração do BIM e IA. Isso viabiliza a interconexão de tecnologias para todo o ciclo de vida de um ativo de construção. Entre 2018 e 2020 o enfoque em sistemas de suporte à decisão se concentrou em mineração de dados e aprendizado supervisionado, visando prever riscos, antecipar danos e planejar manutenção para prolongar a vida útil dos ativos de construção.

Os periódicos mais publicados destacam inovações em classificação da informação, design arquitetônico, enriquecimento semântico, gestão e monitoramento, modelagem preditiva e gêmeos digitais. As publicações sugerem o uso de técnicas de IAs em DTs e modelagens BIM para facilitar o monitoramento, manutenção preditiva, e melhorar a gestão sustentável de edifícios.

A frequência em que são utilizadas as diversas técnicas de IA nas publicações é apresentada na Figura 2 e discutida nesta seção. O método bayesiano é destacado na operação e manutenção para prever falhas e otimizar a manutenção preditiva na previsão de falhas e otimização da manutenção preditiva, enquanto as Support Vector Machines são usadas para análise de grandes conjuntos de dados e o Processamento de Linguagem Natural para classificação de informações textuais.



**Figura 2**  
Técnicas de aprendizado de máquina vs tendências científicas.

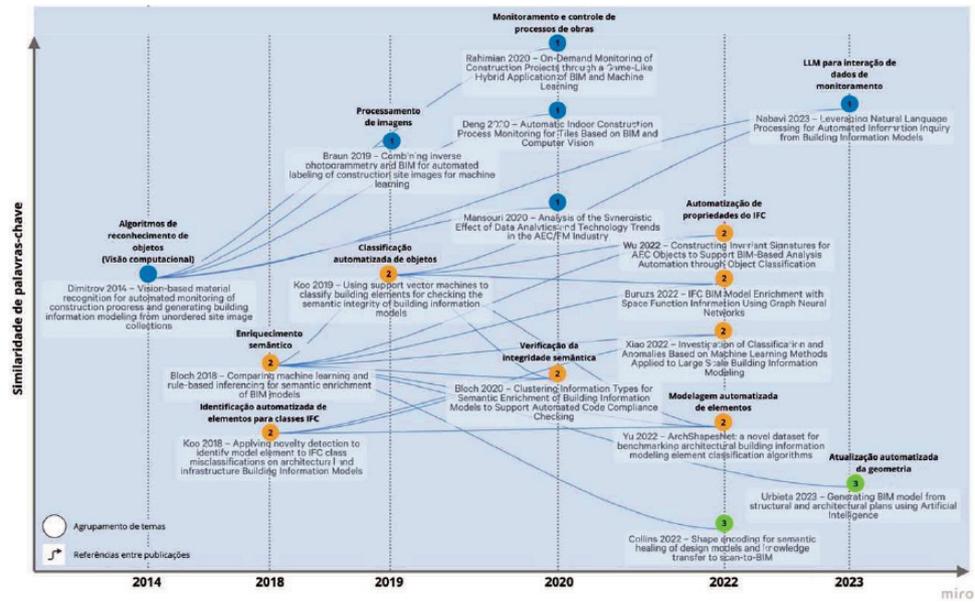
#### 4. Análise qualitativa e discussões

Na presente seção, foi mapeada a progressão das publicações, destacando aplicações, dificuldades e aprendizados adquiridos. As setas representam citações, com início no artigo citante e fim no citado.

##### 4.1. Cluster 1: visão computacional e aprendizado de máquina na indústria 4.0

O Cluster 1 possui 59 artigos, 27 estão interconectados por meio de citações entre publicações do mesmo cluster, formando 3 linhas de pesquisa, demonstradas na Figura 3.

**Figura 3**  
Evolução dos principais artigos do Cluster 1: Classificação da Informação.



4.1.1. Visão Computacional

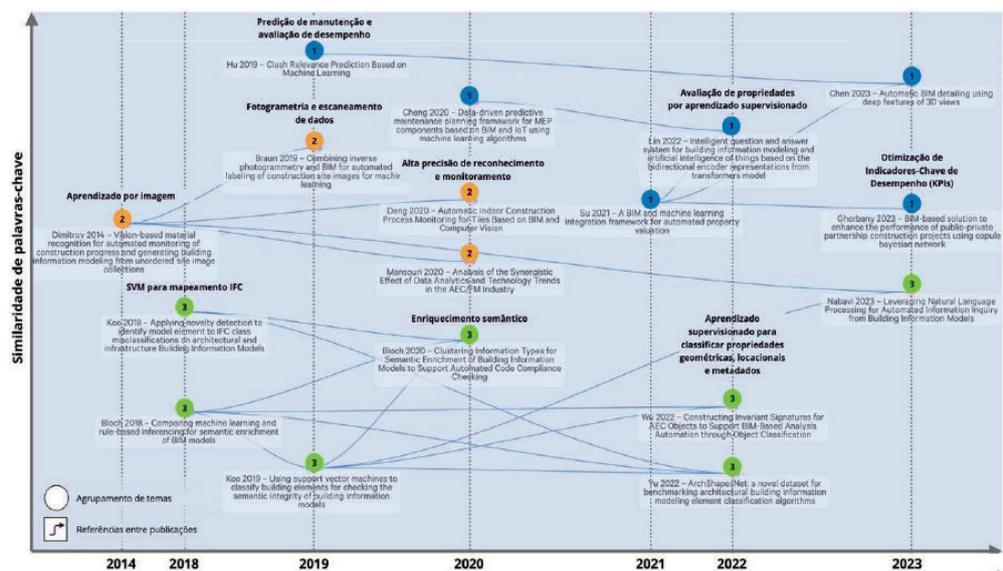
A visão computacional envolve o desenvolvimento de sistemas capazes de extrair significados de conteúdos e realizar a compreensão avançada[1] de dados visuais, como imagens ou vídeos, buscando a semelhança com a percepção visual humana. No campo da Indústria 4.0, pode ser utilizada em conjunto para inspeção e gestão de pontes[1] e tecnologias de localização e/ou identificação em tempo real [3] por detecção e rotulação de objetos. Com seu desenvolvimento contínuo, essa tecnologia se revela versátil para o monitoramento de processos construtivos [4] e elaboração de planos de prevenção contra riscos [5], mas ainda apresentando limitações de interação em tempo real durante o processo construtivo.

4.1.2. Monitoramento e controle de processos de obras por

A capacidade de identificar pessoas e objetos, coloca a visão computacional numa posição vantajosa em termos de custo-benefício se comparada a sistemas alternativos [6]. Os modelos são capazes de capturar informações geométricas detalhadas por meio de nuvens de pontos e extrair dados semânticos baseados em características visuais [7], permitindo monitorar em tempo real o progresso do canteiro de obra [8]. Entretanto, os avanços ainda estão sujeitos a erros devido à quantidade de informações geradas, como cronogramas e registros visuais.

4.2. Cluster 2: aprendizado supervisionado para gestão de facilities e gêmeos digitais

O Cluster 2 possui 37 artigos, onde 17 estão interconectados por meio de citações entre publicações do mesmo cluster, formando 3 linhas de pesquisa, demonstradas na Figura 4.



**Figura 4**  
Evolução dos artigos do Cluster 2: Gestão da informação.

#### 4.2.1. Enriquecimento Semântico (SE) e geração automatizada de propriedades do IFC

[9] definem como SE de modelos BIM, todo processo no qual algoritmos enriquecem um elemento com informação específica, compilando dados de arquivos externos. O SE engloba a classificação de objetos de construção e preenchimento de parâmetros [10], sendo uma aposta para adicionar dados e reconstruir modelos geométricos 3D no BIM. [9] propõem intercâmbio IFC através de inferências automatizadas. [10] aplicam a SE a partir de dados de nuvem de pontos. [11] propõem a inferência textual das propriedades de um elementos IFC e [12], por meio de programação visual, detecta danos e estimar a localização e dimensões de um elemento estrutural.

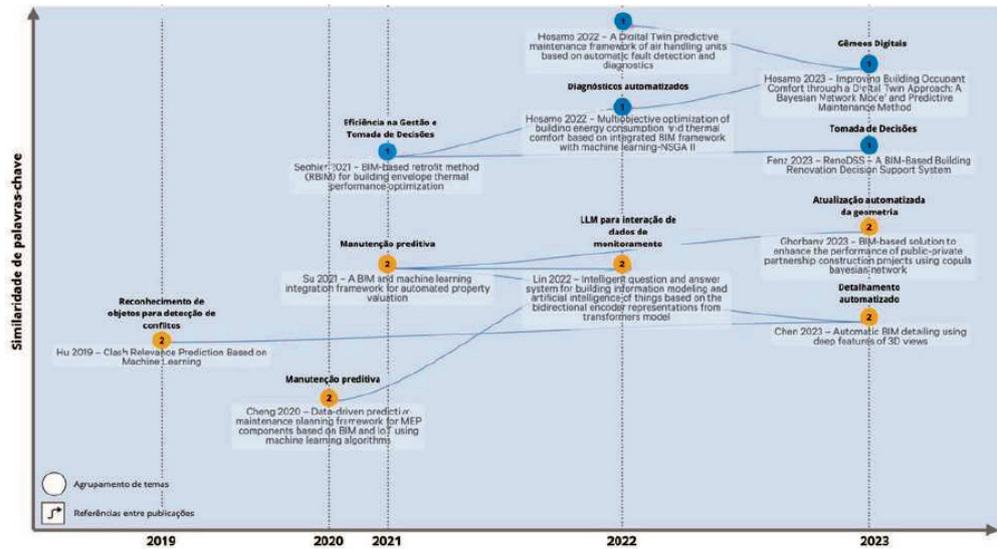
#### 4.2.2. Gêmeos Digitais (DT)

Um gêmeo digital é uma réplica virtual ou modelo digital em tempo real de um objeto físico, processo ou sistema. [1] caracterizam DT como representações digitais de espaços físicos, refletindo as condições do mundo físico, incorporando dados a um modelo de previsões e viabilizando uma análise mais automatizada das condições de um edifício modelado.

#### 4.3. Cluster 3: o aprendizado profundo para predição de eventos na construção

O Cluster 3 possui 32 artigos, 11 estão interconectados por meio de citações entre publicações do mesmo cluster, formando 2 linhas de pesquisa, identificadas na Figura 5.

**Figura 5**  
Evolução dos artigos do Cluster 3: Mineração de Dados e Previsão de Riscos.



#### 4.3.1. Redes Neurais Convolucionais (CNN)

As CNNs são algoritmos de aprendizado profundo usados para processar conjuntos de dados sequenciais e imagens digitais aplicando filtros e análises específicas para análise detalhada. Os autores relatam melhores voltados à gestão de indicadores de desempenho em tempo real para tomadas de decisões estratégicas [24][25] e monitoramento das relações de causa-efeito [15]; Além de reengenharia de processos: como conhecimento da variabilidade de padrões comportamentais e níveis de satisfação dos usuários [16], gestão de conflitos projetuais [17], avaliação predial pós-ocupacional [18] e ergonomia e acessibilidade de projetos [19].

#### 4.3.2. Eficiência na gestão e tomadas de decisão estratégicas para cenários sustentáveis

Os métodos automatizados apoiam a tomada de decisão estratégica, gerando alternativas destinadas a simulação de cenários e planos diretores sustentáveis [20]. A confiabilidade e gestão orçamentária técnicas MCDM são resultados apontados por [21], ao se incluir indicadores de desempenho nesse processo decisório. [22] propõem estruturas de análises automatizadas e [23] propõem um sistema automatizado de apoio à decisão acerca do planejamento de segurança de estruturas temporárias considerando aspectos críticos de custo e produtividade.

#### 4.3.3. Manutenção preditiva

Destaca-se a aplicação de métodos de aprendizagem profunda de algoritmos baseados em dados destinados ao gerenciamento e manutenção de instalações para aquecimento, ventilação e ar-condicionado [24], previsão de condição estrutural de elementos estruturais [25], avaliação de imóveis e manutenção preditiva. Na prática atual, a eficiência da gestão de ativos e tomada de decisão estratégica em tempo

hábil para empreendimentos de engenharia vêm sendo potencialmente utilizados para simulação ágil de cenários e criação alternativas flexíveis.

## 5. Discussão

As linhas de pesquisa focam na gestão de ativos, incluindo classificação, padronização da informação e mineração de dados. O *cluster* vermelho neste estudo, busca aprimorar o reconhecimento de objetos para facilitar decisões no planejamento e monitoramento da produção. Entretanto a falta de padronização dos dados dificulta o intercâmbio de informações e a precisão dos algoritmos é notadamente prejudicada pela escassez de dados históricos durante o treinamento. Algumas pesquisas sugerem resolver isso com o enriquecimento semântico dos dados, permitindo atualização e treinamento contínuos em tempo real. Entretanto identifica-se a ausência de procedimentos prévios nos casos de estudo, revelando lacunas na validação desses métodos e no investimento de sistemas automatizados de monitoramento.

Adicionalmente, a implementação de sensores é indicada para reduzir custos de prevenção de danos e manutenção. O desenvolvimento desses algoritmos permite a integração com sensores IoT e viabilizam a implementação de DT. Essa abordagem destaca-se pelo *cluster* verde, mitigando desvantagens do monitoramento de ativos, com a inclusão de modelos históricos para acessar e combinar informações. No entanto, o treinamento de uma IA com informações específicas, como medição de degradação e condições atuais, é identificado como um desafio, pois são unicamente baseados em contextos controlados ou recortes de uma única fase do projeto. Portanto, as previsões baseadas em dados podem conter imprecisões ou implicações errôneas, que ainda não foram adequadamente treinadas nos algoritmos. Abordagens alternativas são apresentadas no *cluster* azul, como integração de IAs para medições indiretas e analíticas, ganham aceitação devido à redução de custos e à eficácia nos processos. Alguns autores adotam estratégias de mineração de dados para entender e padronizar os dados primários, visando a eficácia dos algoritmos de IA e a compreensão semântica dos dados para integração futura com big data e DTs.

## 6. Conclusão

De modo geral, a variedade de pesquisas proporcionou uma visão ampla do cenário atual, permitindo uma compreensão mais aproximada do estado da arte das produções científicas e tecnológicas. As tendências de pesquisa focam na gestão de ativos para gestão para monitoramento de processos de construção, impulsionadas pela necessidade de economia e pela falta de gerenciamento preciso de ativos em tempo real. Os avanços recentes enfatizam inovações na categorização e padronização de ativos ou informações, especialmente em sistemas de facilities, sustentabilidade e gêmeos digitais.

Do ponto de vista científico e tecnológico, houve avanços no desenvolvimento de algoritmos como SVM, CNN e Bayesianos, aplicados a gêmeos digitais, gestão e

monitoramento de produção, e operação e manutenção preditiva. As abordagens evidenciam o enfoque nas fases de construção, projeto e operação, concentrando-se em design arquitetônicos, modelagem preditiva e gêmeos digitais. Esta pesquisa oferece orientações e insights para novos estudos na área, limitando-se à disponibilização das fontes de dados on-line, sem delimitação temporal.

## Financiamento

O presente trabalho foi realizado com apoio do Programa de Apoio à Pós-graduação (PROAP) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

## Referências

- [1] X. Zhou *et al.*, “Computer Vision Enabled Building Digital Twin Using Building Information Model”, *IEEE Trans. Ind. Inf.*, vol. 19, n.º 3, pp. 2684-2692, 2023, doi: 10.1109/TII.2022.3190366.
- [2] P. Santos, I. Ferreira, B. Cortez, G. Nascimento, e M. T. M. Carvalho, “Pacote de revisão sistemática da literatura - Artigo: ‘Avaliando o Potencial da Integração da Inteligência Artificial ao Building Information Modelling (BIM) na Indústria 4.0’”, fev. 2024, doi: 10.5281/ZENODO.10674728.
- [3] F. Pour Rahimian, S. Seyedzadeh, S. Oliver, S. Rodriguez, e N. Dawood, “On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning”, *Autom Constr*, vol. 110, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2019.103012.
- [4] H. Deng, H. Hong, D. Luo, Y. Deng, e C. Su, “Automatic Indoor Construction Process Monitoring for Tiles Based on BIM and Computer Vision”, *J Constr Eng Manage*, vol. 146, n.º 1, 2020, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001744.
- [5] B. Yang, B. Zhang, Q. Zhang, Z. Wang, M. Dong, e T. Fang, “Automatic detection of falling hazard from surveillance videos based on computer vision and building information modeling”, *Struct. Infrastructure Eng.*, vol. 18, n.º 7, pp. 1049-1063, 2022, doi: 10.1080/15732479.2022.2039217.
- [6] W. Xu e T.-K. Wang, “Dynamic safety prewarning mechanism of human-machine-environment using computer vision”, *ECAM*, vol. 27, n.º 8, pp. 1813-1833, jul. 2020, doi: 10.1108/ECAM-12-2019-0732.
- [7] A. Dimitrov e M. Golparvar-Fard, “Vision-based material recognition for automated monitoring of construction progress and generating building information modeling from unordered site image collections”, *Advanced Engineering Informatics*, vol. 28, n.º 1, pp. 37-49, jan. 2014, doi: 10.1016/j.aei.2013.11.002.

- [8] S. Bhokare, L. Goyal, R. Ren, e J. Zhang, “Smart construction scheduling monitoring using YOLOv3-based activity detection and classification”, *ITcon*, vol. 27, pp. 240-252, mar. 2022, doi: 10.36680/j.itcon.2022.012.
- [9] M. Belsky, R. Sacks, e I. Brilakis, “Semantic Enrichment for Building Information Modeling: Semantic enrichment for building information modeling”, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 31, n.º 4, pp. 261-274, abr. 2016, doi: 10.1111/mice.12128.
- [10] T. Bloch e R. Sacks, “Comparing machine learning and rule-based inferencing for semantic enrichment of BIM models”, *Automation in Construction*, vol. 91, pp. 256-272, jul. 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2018.03.018.
- [11] J. Zhang e N. M. El-Gohary, “Extending Building Information Models Semiautomatically Using Semantic Natural Language Processing Techniques”, *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 30, n.º 5, p. C4016004, set. 2016, doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000536.
- [12] B. McGuire, R. Atadero, C. Clevenger, e M. Ozbek, “Bridge Information Modeling for Inspection and Evaluation”, *J. Bridge Eng.*, vol. 21, n.º 4, p. 04015076, abr. 2016, doi: 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000850.
- [13] C. Quinn, A. Z. Shabestari, T. Mistic, S. Gilani, M. Litoiu, e J. J. McArthur, “Building automation system – BIM integration using a linked data structure”, *Automation in Construction*, vol. 118, p. 103257, out. 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103257.
- [14] S. Ghorbany, E. Noorzai, e S. Yousefi, “BIM-based solution to enhance the performance of public-private partnership construction projects using copula bayesian network”, *Expert Systems with Applications*, vol. 216, p. 119501, abr. 2023, doi: 10.1016/j.eswa.2023.119501.
- [15] Y. Pan e L. Zhang, “BIM log mining: Learning and predicting design commands”, *Automation in Construction*, vol. 112, p. 103107, abr. 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103107.
- [16] W.-B. Chiu e L.-M. Chang, “Machine learning multilayer perceptron method for building information modeling application in engineering performance prediction”, *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, vol. 46, n.º 7, pp. 713-725, out. 2023, doi: 10.1080/02533839.2023.2238765.
- [17] Y. Hu e D. Castro-Lacouture, “Clash Relevance Prediction Based on Machine Learning”, *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 33, n.º 2, p. 04018060, mar. 2019, doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000810.
- [18] H. H. Hosamo, H. K. Nielsen, D. Kraniotis, P. R. Svennevig, e K. Svidt, “Improving building occupant comfort through a digital twin approach: A Bayesian

- network model and predictive maintenance method”, *Energy Build.*, vol. 288, 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.112992.
- [19] A. Buruzs, M. Šipetić, B. Blank-Landeshammer, e G. Zucker, “IFC BIM Model Enrichment with Space Function Information Using Graph Neural Networks”, *Energies*, vol. 15, n.º 8, p. 2937, abr. 2022, doi: 10.3390/en15082937.
- [20] J. I. Kim, J. Kim, M. Fischer, e R. Orr, “BIM-based decision-support method for master planning of sustainable large-scale developments”, *Autom Constr.*, vol. 58, pp. 95-108, 2015, doi: 10.1016/j.autcon.2015.07.003.
- [21] M. Mohammadi, M. Rashidi, Y. Yu, e B. Samali, “Integration of TLS-derived Bridge Information Modeling (BrIM) with a Decision Support System (DSS) for digital twinning and asset management of bridge infrastructures”, *Computers in Industry*, vol. 147, p. 103881, maio 2023, doi: 10.1016/j.compind.2023.103881.
- [22] L. Chen e W. Pan, “BIM-aided variable fuzzy multi-criteria decision making of low-carbon building measures selection”, *Sustainable Cities Soc.*, vol. 27, pp. 222-232, 2016, doi: 10.1016/j.scs.2016.04.008.
- [23] K. Kim, Y. Cho, e K. Kim, “BIM-Driven Automated Decision Support System for Safety Planning of Temporary Structures”, *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 144, n.º 8, p. 04018072, ago. 2018, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001519.
- [24] Y. Achour, A. Ouammi, e D. Zejli, “Model Predictive Control Based Demand Response Scheme for Peak Demand Reduction in a Smart Campus Integrated Microgrid”, *IEEE Access*, vol. 9, pp. 162765-162778, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3132895.
- [25] H. H. Hosamo e M. H. Hosamo, “Digital Twin Technology for Bridge Maintenance using 3D Laser Scanning: A Review”, *Advances in Civil Engineering*, vol. 2022, pp. 1-15, jul. 2022, doi: 10.1155/2022/2194949.

# BIM em Infraestruturas Ferroviárias: Modelação automática de túneis para monitorização e manutenção ao longo do ciclo de vida

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.23>

**Inês Caetano<sup>1</sup>, Débora Pinto<sup>2</sup>, Yessica Barbosa<sup>3</sup>,  
João Silva<sup>4</sup>, Margarida Amândio<sup>5</sup>, Hugo Patrício<sup>6</sup>,  
Miguel Azenha<sup>7</sup>, Luís Sanhudo<sup>8</sup>, João Poças Martins<sup>9</sup>**

<sup>1</sup> BUILT CoLAB / INESC-ID, Porto / Lisboa, 0000-0003-3178-7785

<sup>2</sup> BUILT CoLAB, Porto, 0000-0001-9468-7779

<sup>3</sup> BUILT CoLAB, Porto

<sup>4</sup> BUILT CoLAB, Porto, 0000-0003-2233-8160

<sup>5</sup> BUILT CoLAB, Porto, 0000-0002-6340-0648

<sup>6</sup> Infraestruturas de Portugal, Lisboa

<sup>7</sup> Universidade do Minho / IRISE, Guimarães, 0000-0003-1374-9427

<sup>8</sup> BUILT CoLAB, Porto, 0000-0002-2578-6981

<sup>9</sup> BUILT CoLAB / GEQUALTEC-FEUP, Porto, 0000-0001-9878-3792

## Resumo

A necessidade de reduzir o impacto ambiental do setor da Arquitetura, Engenharia e Construção e acompanhar os princípios da Indústria 4.0, levou à adoção de metodologias como o *Building Information Modelling* (BIM), aumentando a eficiência do setor e melhorando a monitorização e manutenção de infraestruturas. Este artigo aborda atividades desenvolvidas no âmbito do projeto RoboShot@FRC, as quais visam integrar esta metodologia na digitalização e gestão de infraestruturas ferroviárias. O artigo elabora sobre as estratégias aplicadas no desenvolvimento de uma plataforma digital baseada na metodologia BIM, bem como na digitalização (via *scan-to-BIM*), visualização, análise e manipulação da informação de um conjunto de túneis ferroviários. Após refletir sobre os resultados, o artigo termina com uma análise crítica sobre as estratégias adotadas e o impacto da sua aplicação nas atividades de apoio à gestão de túneis ferroviários.

## 1. Introdução

A legislação no setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) tem como objetivo melhorar a qualidade e a segurança do espaço construído [1], assim como reduzir o impacto ambiental do setor [2] e aproximá-lo dos princípios da Indústria 4.0. Este cenário motivou a adoção de tecnologias e metodologias digitais que visam aumentar a eficiência do setor, como é o caso do *Building Information Modelling* (BIM). Ao permitir criar modelos digitais contendo toda a informação necessária para acompanhar o ciclo de vida dos ativos, esta metodologia facilita a comunicação e a partilha de informação entre os vários intervenientes [3], bem como a inspeção e manutenção do espaço construído e o planeamento de tarefas e gestão dos recursos envolvidos [4].

Exemplos da metodologia BIM no contexto da ferrovia incluem o projeto *Crossrail* [5], o qual beneficiou desta metodologia na fase de projeto e construção através de modelos 3D, 4D e 5D, em conjunto com tecnologias de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e realidade aumentada; e o projeto *Rail Baltica* [6], o qual aplica esta metodologia no projeto e construção de infraestruturas ferroviárias e pretende alargar a sua aplicação à gestão das infraestruturas construídas. Outro exemplo é o uso da metodologia BIM para produzir réplicas digitais das infraestruturas ferroviárias [7], [8], para otimizar a monitorização e exploração [9]–[13].

Apesar desta metodologia ser transversal a todas as fases do ciclo de vida dos ativos, a sua aplicação na fase de operação e manutenção ainda está pouco difundida, devido em parte às limitações resultantes da transferência de informação [14]. Este trabalho aborda a integração da metodologia BIM na fase de operação e manutenção em infraestruturas ferroviárias, desenvolvendo um conjunto de estratégias de apoio à digitalização de túneis ferroviários existentes, bem como uma plataforma digital composta pelos modelos BIM dos túneis digitalizados. O artigo apresenta a metodologia adotada na organização da informação da plataforma digital, assim como na geração do seu repositório de modelos BIM. Por último, é discutido o potencial desta plataforma digital para visualizar e manipular a informação dos ativos geridos de forma integrada e coordenada, bem como as suas limitações e possíveis desenvolvimentos futuros.

## 2. Metodologia

Os presentes desenvolvimentos foram elaborados como parte integrante de um projeto mais alargado denominado *RoboShot@FRC* [15], cujo objetivo era melhorar a utilização e a gestão das infraestruturas ferroviárias nacionais, contribuindo assim para a estratégia europeia climática. Nesse sentido, em coordenação com a empresa pública Infraestruturas de Portugal (IP) e a Universidade do Minho, foi desenvolvida de uma plataforma digital de acesso partilhado para visualizar, manipular e gerir a rede de túneis ferroviários da IP através da metodologia BIM. Como o número de

túneis a digitalizar era elevado, adotou-se um conjunto de estratégias para sistematizar e automatizar diversas tarefas, elaborando este artigo sobre as seguintes:

- A. definição da informação base e dos requisitos para os modelos BIM;
- B. processamento da informação com base nos requisitos estabelecidos;
- C. criação de elementos BIM com base nos resultados das tarefas A e B;
- D. integração dos modelos BIM obtidos na tarefa C na plataforma digital.

Após analisar a informação existente, a equipa focou-se na definição de diretrizes e requisitos para gerar os modelos BIM da plataforma digital, estabelecendo-se o nível de informação necessário de acordo com a EN 17412-1 para quatro níveis de modelação (tarefa A). Em seguida, implementaram-se algoritmos para (1) converter a informação geométrica das camadas de sustimento dos túneis em superfícies paramétricas (tarefa B), os quais são referidos ao longo do artigo como algoritmos *Scan-to-BIM*; e (2) automatizar a geração e a parametrização de elementos BIM para os quatro níveis de modelação definidos (tarefa C). A aplicação destes algoritmos originou um repositório de 82 modelos BIM de túneis ferroviários com diferentes níveis de informação necessários. Por fim, desenvolveu-se uma interface gráfica (tarefa D) para permitir o acesso e a manipulação do repositório de modelos BIM da plataforma digital diretamente na plataforma de modelação BIM selecionada (Autodesk Revit 2023).

A descrição destas tarefas está organizada da seguinte forma ao longo do artigo: a seção 3 elabora sobre a sistematização da informação base e a preparação da modelação (tarefa A), a seção 4 descreve a modelação BIM com recurso aos algoritmos *Scan-to-BIM* e aos algoritmos de apoio à modelação desenvolvidos no Autodesk Dynamo (tarefas B e C), e a seção 5 apresenta a plataforma digital desenvolvida (tarefa D). O artigo termina com uma breve reflexão sobre as estratégias desenvolvidas em termos de contribuição para a integração do BIM na indústria, as limitações ainda existentes, e potenciais desenvolvimentos.

### 3. Preparação

Esta etapa começou pela definição do nível de informação necessário para 4 níveis de modelação BIM. A Tabela 1 identifica as diferenças entre níveis de informação necessários em termos do seu propósito de aplicação, bases de dados de suporte e elementos BIM representados.

Tabela 1 – Tabela resumo dos objetos BIM constantes em cada nível de informação necessário e informação base para alimentar cada nível

Nível de Informação Necessário		0	1	2/3
Objetivo/propósito		Visualização	Visualização/Inspeção	Visualização/Inspeção
Informação base	Levantamento topográfico	✓	✓	✓
	Informação geográfica	✓	✓	✓
	Informação caracterizadora	✓	✓	✓
	Nuvens de pontos	X	✓	✓
	Levantamento das anomalias	X	✓	✓
	Configuração das anomalias	X	X	✓
Elementos BIM	Camada de sustimento	✓	✓	✓
	Camada de betão projetado	X	✓	✓
	Plataforma	✓	✓	✓
	Carril	X	✓	✓
	Travessa	X	X	✓
	Nichos	X	X	✓
	Catenária	X	X	✓
	Zona de testa	X	X	✓*
	Anomalias	X	✓	✓
Terreno	X	X	✓*	
Total de modelos		69	10	3**

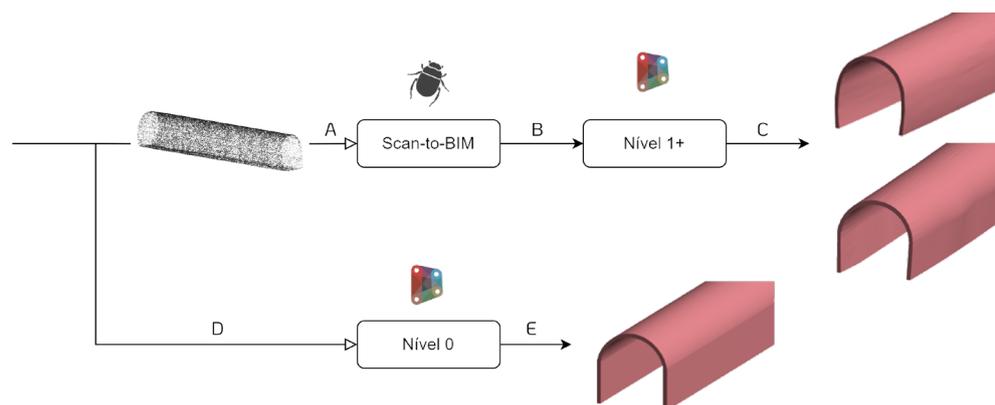
\*Aplicado ao nível 3; \*\* Dois túneis modelados no nível 2 e um túnel modelado no nível 3.

Por exemplo, quando o objetivo é apenas visualizar a volumetria do túnel (nível 0), basta representar a plataforma e a camada de sustimento através de objetos BIM muito simplificados. No entanto, quando já é necessário inspecionar o estado do túnel (níveis 1 ao 3), o modelo BIM deve não só incluir mais elementos, como por exemplo as anomalias existentes na sua estrutura, mas também representar esses elementos com mais informação e rigor geométrico. Outro elemento cuja representação varia significativamente entre os níveis 1 e 3 de modelação é a camada de sustimento e betão projetado do túnel, as suas irregularidades e saliências tornam-se progressivamente mais realísticas. O mesmo acontece com as anomalias existentes nestas camadas: enquanto no nível 1 a sua representação é feita através de pontos, no nível 2 e 3 estas são representadas de acordo com a sua categoria (i.e., fissura, anomalia de área, etc.), sendo possível identificar não só as suas localizações, mas também as suas diferenças em termos de forma e gravidade (reduzida, moderada, etc.).

Após selecionar os túneis a incluir na plataforma digital, foi necessário limpar e dizar as nuvens de pontos dos túneis para os níveis de modelação 1, 2 e 3, de modo a otimizar o seu processamento algorítmico. Em seguida, estas foram convertidas num formato compatível com o algoritmo *Scan-to-BIM*, nomeadamente o formato .xlsx. Por último, foi necessário definir um conjunto de configurações para a plataforma de modelação, contendo toda a informação transversal aos túneis, incluindo (1) a definição de unidades de medida, (2) materiais e objetos BIM do contexto da ferrovia, (3) tabelas para controlar a qualidade dos modelos BIM e ainda (4) definições de exportação IFC.

## 4. Modelação

A definição de configurações transversais e de objetos BIM para representar os elementos dos túneis ferroviários serviu de base às tarefas seguintes, as quais culminaram num repositório de 82 modelos BIM com diferentes níveis de informação necessários. Estas tarefas beneficiaram ainda de um conjunto de algoritmos para converter informação de diferentes bases de dados em superfícies paramétricas e objetos BIM.



**Figura 1**  
Metodologia algorítmica de apoio à modelação BIM.

### 4.1. Processo metodológico *Scan-to-BIM*

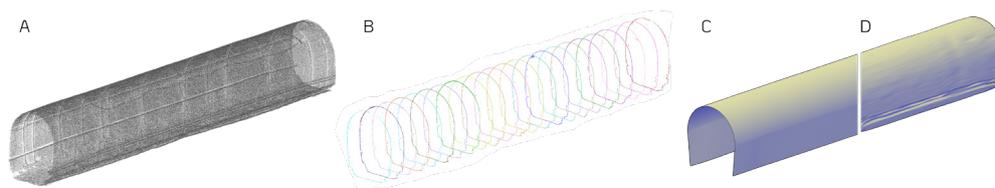
A Figura 1 ilustra o processo por detrás da conversão das nuvens de pontos em elementos BIM. Com exceção do nível 0, o processo desenrola-se da seguinte forma: ao fornecer a nuvem de pontos ao algoritmo *Scan-to-BIM* (A), obtém-se uma superfície paramétrica da camada de sustimento do túnel de acordo com o nível de informação necessário escolhido; em seguida, esta superfície é fornecida a outro algoritmo (B) para gerar os elementos BIM das respetivas camadas de sustimento e betão projetado do túnel no nível de informação necessário correspondente (C). No caso dos modelos em nível 0, o algoritmo responsável por gerar a camada de sustimento (D) recebe apenas o levantamento topográfico do túnel, originando um volume uniforme ao longo de toda a sua extensão (E). Estas etapas são desenvolvidas nas secções seguintes.

### 4.2. Processamento e manipulação de nuvens de pontos

Esta etapa foi automatizada através do algoritmo *Scan-to-BIM* segundo o processo ilustrado na Figura 2: ao receber o ficheiro com a nuvem de pontos, o algoritmo cria as localizações espaciais correspondentes (A), agrupando-as em diferentes perfis (B); quando o objetivo é obter as superfícies das camadas de sustimento e betão projetado em nível 1, o algoritmo filtra os pontos do perfis que definem a sua forma genérica; quando é necessário gerar superfícies para níveis de modelação superiores, o algoritmo manipula os pontos do perfil de acordo com o nível escolhido; por fim, os perfis são convertidos em superfícies paramétricas (C e D).

**Figura 2**

Processo algorítmico *Scan-to-BIM*: A nuvem de pontos (A) é convertida em perfis de pontos (B) e, posteriormente, em superfícies paramétricas de acordo com o nível de informação necessário escolhido (C-D).



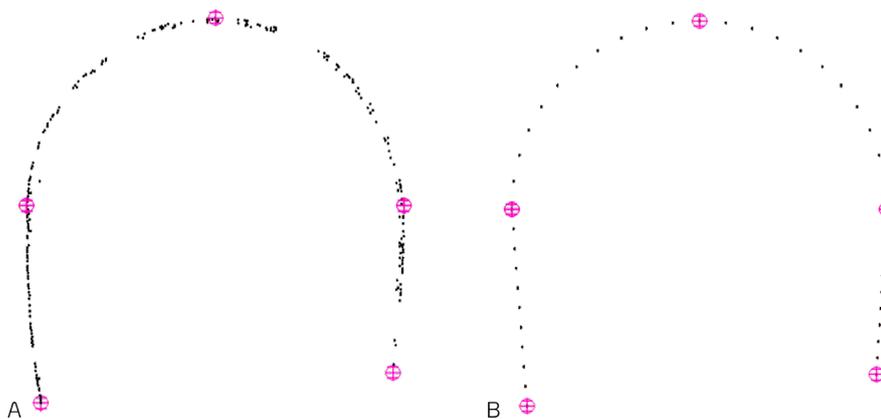
Relativamente ao primeiro passo (Figura 2A), este envolveu a conversão da informação contida no ficheiro .xlsx em localizações espaciais na plataforma de modelação utilizada. Em seguida, estas localizações foram organizadas tendo em conta a sua distância a um conjunto de perfis, os quais são definidos de acordo com o nível de informação necessário escolhido: quanto maior for, menor deverá ser a distância entre perfis e maior deverá ser o número de pontos associado a cada um deles. Isto significa que, o espaçamento entre perfis deverá ser superior quando queremos representar os elementos BIM das camadas de sustimento e betão projetado com menos rigor geométrico e cada vez mais reduzido quando é suposto estes elementos acompanharem as irregularidades do túnel com mais exatidão. O resultado deste processo são conjuntos de pontos que vão servir de base para a modelação da superfície (Figura 2B).

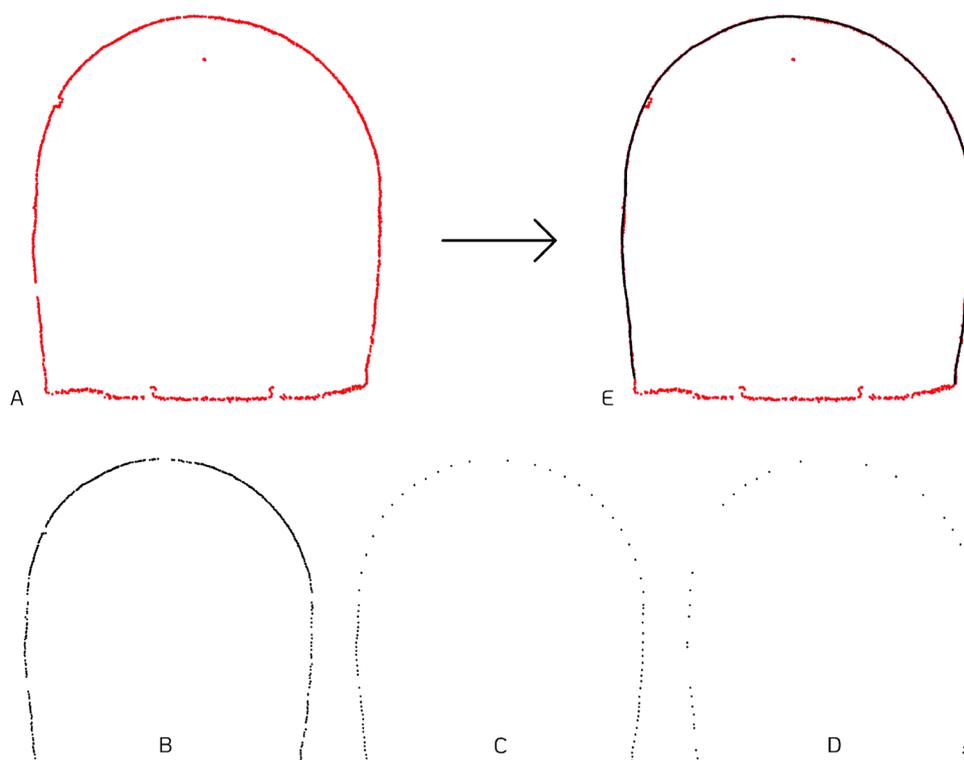
Quando o objetivo é modelar as camadas de sustimento e betão projetado em nível 1, o algoritmo *Scan-to-BIM* calcula os pontos que definem a geometria base de cada perfil (Figura 3A), também referidos como *pontos críticos*, e, com base nesses pontos, gera um conjunto de pontos lineares e radiais equidistantes (Figura 3B). A interpolação desses pontos origina uma superfície paramétrica que simplifica e uniformiza a geometria original do túnel (Figura 2C).

Quando é necessário obter superfícies que acompanham com mais precisão as irregularidades das camadas de sustimento e betão projetado do túnel (níveis 2 e 3), o algoritmo *Scan-to-BIM* processa os pontos de cada perfil (Figura 4A) por zonas, eliminando pontos duplicados (i.e., pontos abaixo duma distância mínima de outros pontos) e discrepantes (i.e., pontos que destoam da geometria base do perfil). O resultado está ilustrado na Figura 4B.

**Figura 3**

Simplificação do perfil do túnel num conjunto de pontos críticos (A) e a criação de pontos intermédios equidistantes entre estes pontos (B).





**Figura 4**  
Processamento dos pontos de um perfil: perfil original (A); remoção de pontos duplicados e discrepantes (B); redução do número de pontos através do cálculo de pontos intermédios (C) e de um limite máximo de pontos (D); curva aproximada ao perfil (E).

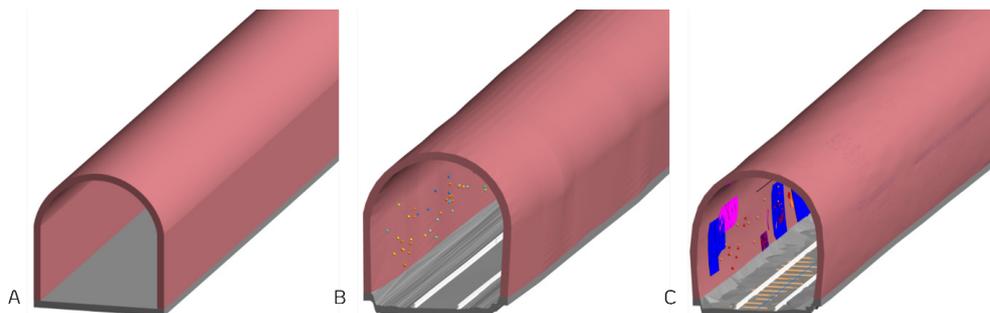
Caso o número de pontos resultante deste processo seja ainda demasiado elevado ou a irregularidade dos perfis seja superior à desejada para a superfície, o algoritmo *Scan-to-BIM* permite continuar a reduzir o número de pontos dos perfis através de dois métodos. O primeiro baseia-se no cálculo de pontos intermédios em incrementos definidos pelo utilizador, onde o incremento controla a quantidade de pontos envolvidos no cálculo. Isto significa que, quanto maior for o incremento, maior a redução do número de pontos e maior a regularidade do perfil. A Figura 4C ilustra o resultado deste processo com o incremento de 10. O segundo método baseia-se no estabelecimento de um número máximo de pontos para os perfis, o qual é atingido através da remoção aleatória de pontos por zona. A Figura 4D mostra o resultado deste processo com um máximo de 40 pontos por perfil. Esta possibilidade permite ao utilizador uniformizar a densidade de pontos dos perfis e assim obter superfícies mais homogéneas. Por fim, após obter um número adequado de pontos para os perfis, estes são convertidos em curvas paramétricas (Figura 4E), cuja interpolação origina superfícies adequadas ao nível de informação necessário escolhido (Figura 2D).

### 4.3. Criação dos modelos BIM dos túneis

A criação de objetos BIM de acordo com as características dos túneis e do nível de informação necessário selecionado também foi parcialmente automatizada através de um conjunto de algoritmos. No caso dos modelos de nível 0, utilizou-se um algoritmo que, a partir do levantamento topográfico do túnel, gera a respetiva plataforma e camada de sustimento de forma muito simplificada (ver Figura 5), preenchendo os

respetivos parâmetros de acordo com o nível de informação necessário estabelecido. No caso dos modelos de nível 1, 2 e 3, os algoritmos aplicados geraram (1) a plataforma do túnel com base na nuvem pontos e no nível de informação necessário e (2) as respectivas camadas de sustimento e betão projetado a partir das superfícies produzidas pelo algoritmo *Scan-to-BIM* para o respetivo nível. No segundo caso, os algoritmos também preencheram os parâmetros das ações programadas de acordo com o nível de informação necessário.

**Figura 5**  
Modelos BIM do túnel de Mourilhe com diferentes níveis de informação necessários: (A) Nível 0; (B) Nível 1; (C) Nível 2.

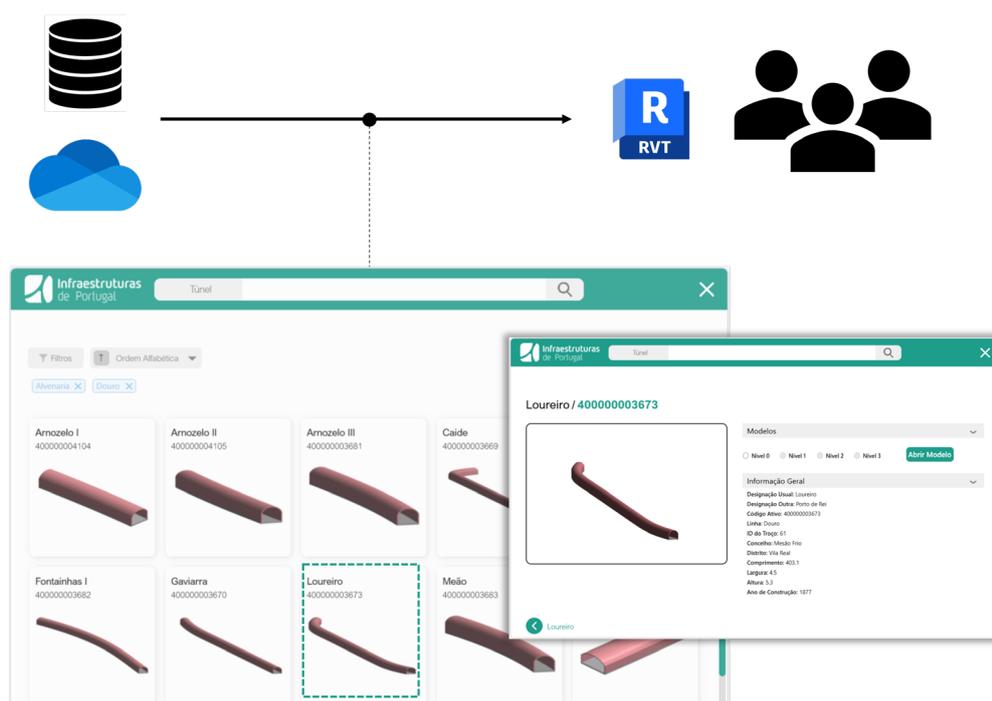


Relativamente às anomalias, estas foram representadas por pontos nos modelos de nível 1 (Figura 5B), identificando a sua localização, tipo (e.g., fissura, zona húmida, elementos alterados), dimensões, material associado e data de identificação. Nos níveis 2 e 3 estas são representadas por três classes de objetos BIM – anomalias de ponto, anomalias de superfície, e anomalias lineares – sendo possível visualizar a sua geometria (Figura 5C). Em todos os níveis, o mapeamento das anomalias foi feito através dum algoritmo que recebe o ficheiro com as suas localizações. Nos níveis 2 e 3, utilizou-se outro algoritmo que, a partir do ficheiro com as características físicas e estado de conservação das anomalias, cria instâncias das respetivas classes de objeto BIM com geometria e informação adequadas.

O resultado foi um conjunto de modelos BIM cuja complexidade geométrica e quantidade de informação aumenta progressivamente entre níveis (ver Figura 5). Uma das diferenças visíveis nesta imagem é a camada de sustimento e betão projetado do túnel, as quais dependem da superfície paramétrica gerada pelo algoritmo *Scan-to-BIM*: por exemplo, enquanto no modelo B estes elementos foram gerados a partir de uma superfície regular que simplifica a forma original do túnel, no modelo C os mesmos elementos resultaram de uma superfície mais aproximada à forma original. Relativamente às anomalias, as diferenças de representação entre o modelo B e C devem-se à complexidade do algoritmo utilizado: enquanto no primeiro caso, o algoritmo representa as anomalias através de pequenas esferas, baseando-se apenas na sua localização aproximada, no segundo caso, este representa as anomalias através de diferentes classes de objetos BIM.

## 5. Visualização

Para facilitar a visualização e a gestão do conteúdo da plataforma digital, desenvolveu-se uma interface gráfica acessível através da plataforma de modelação. A Figura 6 ilustra os elementos que compõem a plataforma digital, nomeadamente (1) o repositório de modelos BIM e base de dados de suporte, (2) a interface gráfica para visualizar o conteúdo do repositório, e (3) uma funcionalidade para abrir, visualizar e manipular os modelos BIM do repositório diretamente na plataforma de modelação.



**Figura 5**  
Estrutura da plataforma digital: repositório de modelos BIM e base de dados de suporte; interface gráfica com informação visual e alfanumérica do conteúdo do repositório; e funcionalidade para abrir os modelos na plataforma de modelação.

Após instalar e selecionar a extensão na plataforma de modelação, o utilizador tem acesso a um menu interativo com a imagem de todos os túneis existentes na plataforma digital. Ao selecionar um desses túneis, o utilizador tem acesso à informação geral do túnel e aos dados das suas inspeções, bem como ao seu modelo BIM. A partir desse momento, o utilizador pode visualizar e navegar o modelo, ficando as possíveis alterações automaticamente disponíveis para qualquer utilizador com acesso à plataforma digital.

## 6. Conclusões

O trabalho desenvolvido resultou num conjunto de estratégias de suporte à digitalização de túneis ferroviários e à sua integração numa plataforma digital de acesso partilhado. Entre as suas contribuições encontra-se (1) as diretrizes para sistematizar a informação a incluir nas réplicas digitais dos túneis; (2) os algoritmos *Scan-to-BIM* e algoritmos de apoio à modelação desenvolvidos no Autodesk Dynamo;

e (3) a estruturação de uma plataforma digital para gerir vários modelos BIM de forma sincronizada e colaborativa. Relativamente às contribuições 1 e 2, para além de reduzirem o tempo e esforço investidos na digitalização de novos túneis, pois automatizam diversas tarefas desde a preparação e processamento de informação até à criação dos modelos BIM dos túneis, também uniformizam os resultados obtidos, originando modelos BIM com classes de objetos, materiais, e níveis de parametrização idênticos. Em termos da contribuição 3, esta promove uma gestão mais integrada e colaborativa, permitindo um acesso à informação digitalizada mais estruturado e intuitivo. Para além disso, também facilita a inspeção e a manipulação da informação dos túneis de forma colaborativa, permitindo que vários colaboradores acessem aos modelos, garantindo ao mesmo tempo que qualquer alteração fique imediatamente disponível.

Em termos das limitações do trabalho desenvolvido, refere-se o fato dos elementos BIM relativos aos carris, travessas, nichos, catenárias e muros de testa terem sido modelados manualmente; e do uso da plataforma digital ser restrito à plataforma de modelação Autodesk Revit e estar dependente da aquisição de uma licença. Em termos de trabalho futuro, seria interessante estender a quantidade de informação embebida nos modelos BIM dos túneis e incluir, por exemplo, informação alfanumérica relativa a gestão de ativos, como garantia, fabricante, data de aquisição, custo, entre outros. Outro aspeto que também seria relevante abordar seria a otimização da estrutura e do comportamento de alguns dos algoritmos desenvolvidos, de forma a reduzir os tempos de processamento, a eliminar as intervenções manuais ainda existentes, e a melhorar a qualidade dos resultados obtidos. Também seria importante automatizar a modelação BIM dos restantes elementos, como os carris, catenárias, nichos, muros de testa e terreno. Por último, seria importante tornar a plataforma digital independente de qualquer plataforma de modelação e, ao mesmo tempo, compatível com várias plataformas de modelação, como por exemplo, ArchiCAD, AutoCAD, e Rhinoceros 3D, tirando partido das recentes evoluções introduzidas no formato IFC 4.3.

## Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo projeto de inovação e desenvolvimento (I&D) *RoboShot@FRC - Robotized system for the shotcrete of optimized fibre reinforced concrete in railway tunnels* com referência POCI-01-0247-FEDER-047075; pelo PRR – Plano de Recuperação e Resiliência e União Europeia – [www.recuperarportugal.gov.pt](http://www.recuperarportugal.gov.pt) (PRR - Investimento RE-C05-i02: Missão Interface - CoLAB); e pela FCT / MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) sob a unidade de investigação ‘Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Estruturas de Engenharia’ (ISISE) com referência UIDB/04029/2020; sob o Laboratório Associado ‘Advanced Production and Intelligent Systems’ (ARISE) com referência LA/P/0112/2020; e ainda por: Financiamento Base – UIDB/04708/2020 DOI 10.54499/UIDB/04708/2020 e Financiamento programático – UIDP/04708/2020 DOI 10.54499/UIDP/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções.

## Referências

- [1] E. Touloupaki and T. Theodosiou, "Performance simulation integrated in parametric 3D modeling as a method for early stage design optimization – A review," *Energies (Basel)*, vol. 10, no. 637, 2017.
- [2] R. Evins, "A review of computational optimisation methods applied to sustainable building design," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 22, pp. 230-245, 2013.
- [3] C. Sharples, "Unified frontiers: Reaching out with BIM," *Architectural Design Magazine*, vol. 79, no. 2, pp. 42-47, 2009.
- [4] M. Bensalah, A. Elouadi, and H. Mharzi, "Overview: the opportunity of BIM in railway," *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 8, no. 2, pp. 103-116, 2019.
- [5] T. Malcolm, "Crossrail Project: Application of BIM (Building Information Modeling) And Lessons Learned," 2018.
- [6] J. Starynina and R. Busmanis, "Rail Baltica – Project of the Century: BIM implementation for the Rail Baltica Global Project.," 2019.
- [7] Y. Li, Z. Xiao, J. Li, and T. Shen, "Integrating vision and laser point cloud data for shield tunnel digital twin modeling," *Automation in Construction*, vol. 157, p. 105180, 2024.
- [8] S. Pollalis and D. Lappas, "Crossrail – Elizabeth Line London, UK. The Zofnass Program at Harvard," 2019.
- [9] J. Zhang, J. Li, B. Liu, H. Li, and W. Yang, "The design and application of BIM + refined management and control platform for the Jingxiong railway bridge," *High-speed Railway*, vol. 1, no. 3, pp. 211-218, 2023.
- [10] Z.-Z. Hu, X. Zhang, J.-R. Lin, and Y. Zhou, "A BIM-based Safety Monitoring and Analysis System for a High-speed Railway Bridge," 2016.
- [11] E. Acerra, G. Busquet, M. Parente, M. Marinelli, V. Vignali, and A. Simone, "Building Information Modeling (BIM) Application for a Section of Bologna's Red Tramway Line," *Infrastructures (Basel)*, vol. 7, p. 168, 2022.
- [12] Y. Zhou, C. Wang, B. Yuan, M. Chen, and J. Lv, "Research on Visual Management Technology of Tunnel Construction Process Based on BIM Technology," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2021, pp. 1-9, 2021.
- [13] G. Chao *et al.*, "Application of Digital Twins and Building Information Modeling in the Digitization of Transportation: A Bibliometric Review," *Applied Sciences*, vol. 12, p. 11203, 2022.

- [14] G. Wang and Z. Zhang, "BIM implementation in handover management for underground rail transit project: A case study approach," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 108, p. 103684, 2021.
- [15] H. Patrício, "Roboshot," In *1-º Workshop BIM/SIG: Infraestruturas Lineares e Geotécnicas*, 2023.

# Generative design of modular/ industrial architectural system

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.24>

**Wilson Zárate<sup>1</sup>, Bruno de Figueiredo<sup>3</sup>,  
Filipe Brandão<sup>4</sup>, Miguel Pires<sup>2</sup>, Pedro Carneiro<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *BIM A+, Universidade do Minho, Guimarães*

<sup>2</sup> *TOPBIM, Braga, Portugal*

<sup>3</sup> *EAAD, Lab2PT, Universidade do Minho, Guimarães, ID ORCID 0000-0002-3378-0176*

<sup>4</sup> *EAAD, Lab2PT, Universidade do Minho, Guimarães, ID ORCID 0000-0001-8439-7065*

## Abstract

The construction industry faces persistent productivity challenges, related to fragmented information flow throughout various project phases and difficulty of communication among stakeholders. To address these issues, the industry has reacted by incorporating solutions such as prefabrication and embracing technologies like Building Information Modelling (BIM). These aim to enhance productivity by facilitating mass customization, improving information flow between project phases and stakeholders, and leveraging software and platforms that enable automation, including processes like Generative Design.

This paper results from an investigation of the application of technologies in prefabrication, with a specific focus on the current use of configurators and the potential for automation in processes related to project development. It presents a methodology to develop a configurator applied to a case study (CREE system, used by CASAIS company). It incorporates researched tools and platforms currently prevalent in the market within the domains of BIM, harnessing the limited parameters of prefabricated elements to automate the generation of design proposals and the acquisition of information about Key Performance Indicators (KPIs).

The research aims to enhance productivity and information flow in the construction industry, leveraging prefabrication and BIM. By using tools associated with configurators, it proposes exploring automation methods, particularly during project initiation phases.

## 1. Introduction

The construction industry faces persistent productivity issues due to disruptions in the information flow between stages, inefficient resource management, and a lack of clarity regarding the impacts of decisions made in the initial design phases. Hence, the industry is increasingly turning to prefabrication systems as a solution. These systems offer resource optimization, enhance overall project efficiency by reducing scheduling times, and bring greater organization to construction sites. Moreover, they represent a strategic approach for lowering pollution rates and overall construction costs, aligning with a commitment to sustainability and productivity. The integration of Building Information Modelling (BIM) technology further promotes these factors, providing a significant opportunity to improve information flow and automate processes at various levels.

The research revolves around the application of BIM and a prefabrication construction method used by CASAIS, a Portuguese construction company located in Braga. CASAIS is using this hybrid prefabrication system (initially developed by the CREE company) and proposed as a case study. The primary objective is to create a methodology using BIM tools to make a configurator that streamline the generation of design proposals, complete with data and models, quickly and straightforwardly, requiring minimal input from users during the project's design phase.

The paper consists of four main stages. In the initial stage, an exploration is conducted to review existing literature related to the application of BIM in prefabrication for construction. This is followed by an examination of the integration of automation, specifically Generative Design with a focus on configurators, within the design phases of these systems. The second stage explores the proposal of a methodology, which is developed based on the preceding analysis of literature and digital tools. Within this stage, the implementation of a suitable configurator for prefabrication is elucidated, along with the selection of optimal tools to use.

In the third stage, the CREE system is analyzed to identify its main components and the key parameters that need to be taken into consideration. The fourth stage focuses on the implementation of the proposed methodology. This section is centered around the development of code within the Grasshopper Application Programming Interface (API), providing a practical application of the methodology. Finally, it ends with a discussion and conclusions about the exploration made.

## 2. BIM and Prefabrication

The purpose of prefabrication is to accelerate construction methods, building parts that are assembled off-site in well-equipped manufacturing facilities and under a controlled environment [1]. Subsequently, these prefabricated components are transported from the factory to the construction site, where they are installed and assembled to form the completed parts of the building.

It is worth noting that the design methodology for modular prefabricated elements holds considerable significance for prefabricated systems. The integration of Design for Manufacture and Assembly (DfMA) imply that designers carefully consider the demands of both the manufacturing and assembly stages in the context of industrialized buildings. This approach empowers designers to make informed decisions regarding materials, costs, manufacturability, and assembly processes, ultimately aiming for the creation of the most efficient design [2].

Within this framework, BIM has emerged as a highly effective solution for addressing productivity challenges in the construction sector. The adoption of BIM contributes to enhanced efficiency in the design of prefabricated buildings, their production, and the overall management of construction processes. BIM facilitates simulation and the optimization of information flow. With 3D modeling and the visualization capabilities it offers, a more comprehensive understanding of the entire project is ensured [3].

The integration of BIM in prefabrication, based on literature brings various benefits. It enables early identification of completion delays, streamlines procurement schedules, explores design constraints for fabricators, reduces differences between design and manufacturing models, shortens manufacturing cycles, minimizes coordination errors, improves fabrication quality, and facilitates mass customization. These advantages collectively enhance efficiency, accuracy, and overall project performance [3].

Parametric design stands out as one of the key features of BIM, where entities are represented in parameters and rules. Any modification in one part of the design automatically updates its related parts [4]. Within the BIM environment, buildings are digitally represented with both geometric and semantic information. This representation enables designers to identify key parameters and relationships between various system components [5]. The pre-defined parametric relationships can then be leveraged to generate and optimize building models in prefabrication systems.

With the help of the parametric methods, information from the manufacturing and assembly phases can be included in the design stage. To this end, approaches using automation have been developed, that seek to take advantage of the characteristics of modular systems (they have usually a limited number of parameters and relationships between their components) to improve productivity. In this way, Generative Design is an approach that could use the information of the subsequent phases in the design phase, to increase productivity by automation of design proposals.

In industrialized construction, a strategic approach centered on mass customization has been adopted. The goal is to deliver personalized products at a comparable cost, quality, and speed as the mass production industry. This approach seeks to integrate design flexibility with the advantages offered by mass-produced products. Consequently, standardization and the use of modularity are identified as prerequisites for achieving mass customization [6]. Where the application of newly developed technologies can significantly facilitate the implementation of mass customization. In

this regard and according to Far [7], BIM offers substantial benefits across three systemic levels: as a tool, as a platform, and as an environment.

### 3. Configurators and platforms

Product configurators are a good illustration of product platforms, that were initially used in the manufacturing sector. This emerging technology, akin to the concept of mass customization, aims to enable flexibility in design that adjusts both to customer preferences and to the productivity and capabilities of manufacturers [8]. A product configurator can be defined as a software with the capability to generate, maintain, and utilize electronic product models, facilitating the definition product variations in combinations with minimal input data [9].

Recognizing the significance of tools associated with BIM, a study was undertaken to explore selected platforms with a focus on their functionalities related to automation, information generation, and interoperability. The platforms were chosen based on their market prevalence, availability, and the features they offer, starting from those identified and studied by Brandão [10], and supplemented with additional options. The objective was to gain insights into the primary functionalities and opportunities provided by these platforms and tools, to develop a suitable methodology to make a configurator, incorporating some of them.

The platforms/tools analyzed were the following:

- ShapeDiver [11]: Web-based tool that allows users to create, customize, and share 3D parametric models.
- Hypar [12]: Cloud platform that provides an infrastructure with tools for three-dimensional modeling of buildings using algorithms.
- TestFit [13]: Platform focused on real-estate feasibility, automating site planning for developers, architects, and contractors to maximize site potential.
- PlanFinder [14]: Design app plugin that matches apartment plans to input boundaries using machine learning algorithms to search through a database of building plans.
- Speckle [15]: Platform that focuses on providing interoperability solutions between many different software and applications.
- Rhino Compute [16]: Cloud app for running a headless Rhino application on a server for automating design tasks.

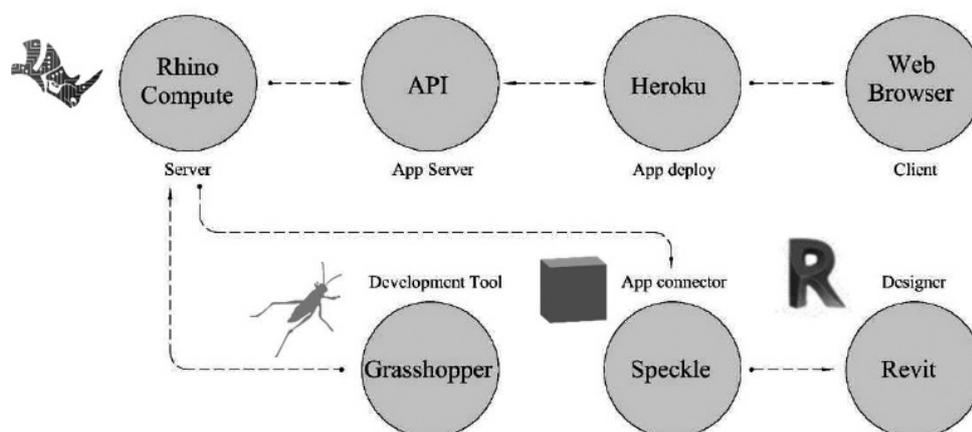
### 4. Methodology definition

This section describes the proposal of a methodology to make a configurator using some of the tools analyzed. This to generate design proposals, with data and models, considering some KPI's related with the prefabricated system (CREE). Some of the objectives for the research with the use of these tools and/or platforms in prefabrication for construction are the following:

- The ability to configure a workflow that aligns more precisely with the pre-fabrication elements of the case study system.
- Automatically retrieving data related to Key Performance Indicators (KPIs) from various design options, with a focus on those most relevant to the system.
- Simplified visualization and configuration of the system, along with the seamless retrieval of results from both models and data, facilitating continuous project development.
- Capability to process information from a server and execute the workflow through a web browser, enhancing ease of interaction.

After analyzing the tools, based on these objectives, it was selected for the implementation of a configurator Rhino compute (due to the flexibility it allows in processing information remotely and the option of being connected to a web browser), and Speckle (due to the possibility it offers of automation in connections between softwares). It was then decided to use Grasshopper (instead of Dynamo, from Revit) to prepare the computational model, due to its easy connection with Rhino compute.

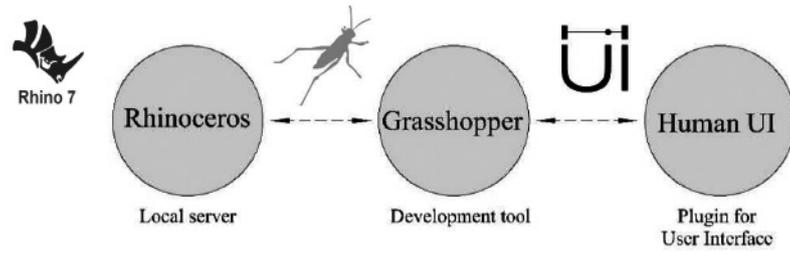
With the use of an implemented web browser, the user can interact with the computational model, allowing him/her to choose within the established parameters, visualize the three-dimensional model as well as obtain data and graphics. The use of the platform Heroku is proposed for the app deployment, and a connection with Revit using Speckle. This allows interconnection with RhinoCompute and the automation workflows. (Figure 1).



**Figura 1**  
Architecture of the configurator.

The current implementation was focused on the section related to the development of the computational model, elaborated through Grasshopper, leaving the web browser for future implementation. As an alternative for this, it was decided to develop a User Interface through the Grasshopper API, with the use of the plugin HumanUI. In addition, the Rhinoceros software, installed locally, was used as information processor, instead of using the remote version. (Figure 2).

**Figura 2**  
Architecture of the configurator implemented.

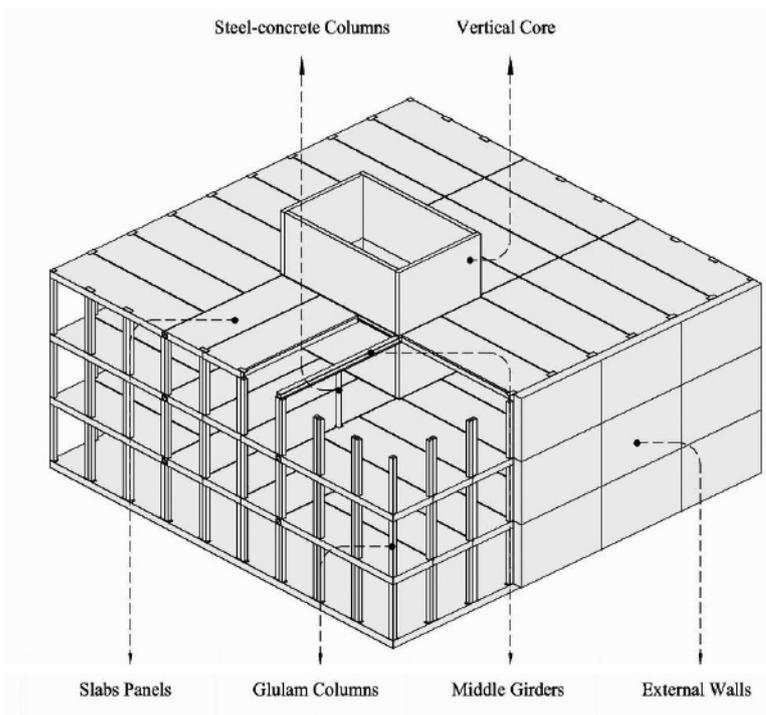


### 5. CREE system

The CREE System (developed by CREE company) is used as a case study. It is represented by CASAIS Group in Portugal and was proposed by TOPBIM. It is a hybrid prefabrication construction system involving wood and concrete for the construction of versatile high-rise buildings. This system comprises modular elements that enable the off-site construction of virtually the entire building.

To create the computational model in Grasshopper, for the development of the configurator, schemas were developed to represent the key parameters of the prefabrication system, focusing on the components and their interrelations (Figure 3). A set of KPIs, serving as measurable metrics, has been defined to assess the different project options generated. These KPIs are directly aligned with the primary objectives of the case study system, encompassing aspects such as modular quantities of elements, variability in these modules, overall areas, ratios of areas between elements, and maximum and minimum dimensions. Collectively, these KPIs provide an informed understanding of the project's feasibility.

**Figura 3**  
CREE system components and KPIs [17].



Component	KPI
Hybrid slabs	-Dimensions of types.
	-Quantities by types.
	-Total areas covered by types.
Cores	-Dimensions of elements.
	-Areas by element.
Glulam columns	-Quantities by type of grouping.
	-Quantities by type of section and height.
Steel girders	-Quantities by lengths.
	-Total length.
L sections	-Quantities by lengths.
	-Total length.
Steel-Concrete columns	-Quantities by height.
	-Dimensions of types.
Façade	-Quantities by types.
	-Total areas covered
Ratio Areas	-Total areas of the components of the system.

## 6. Generative Design model

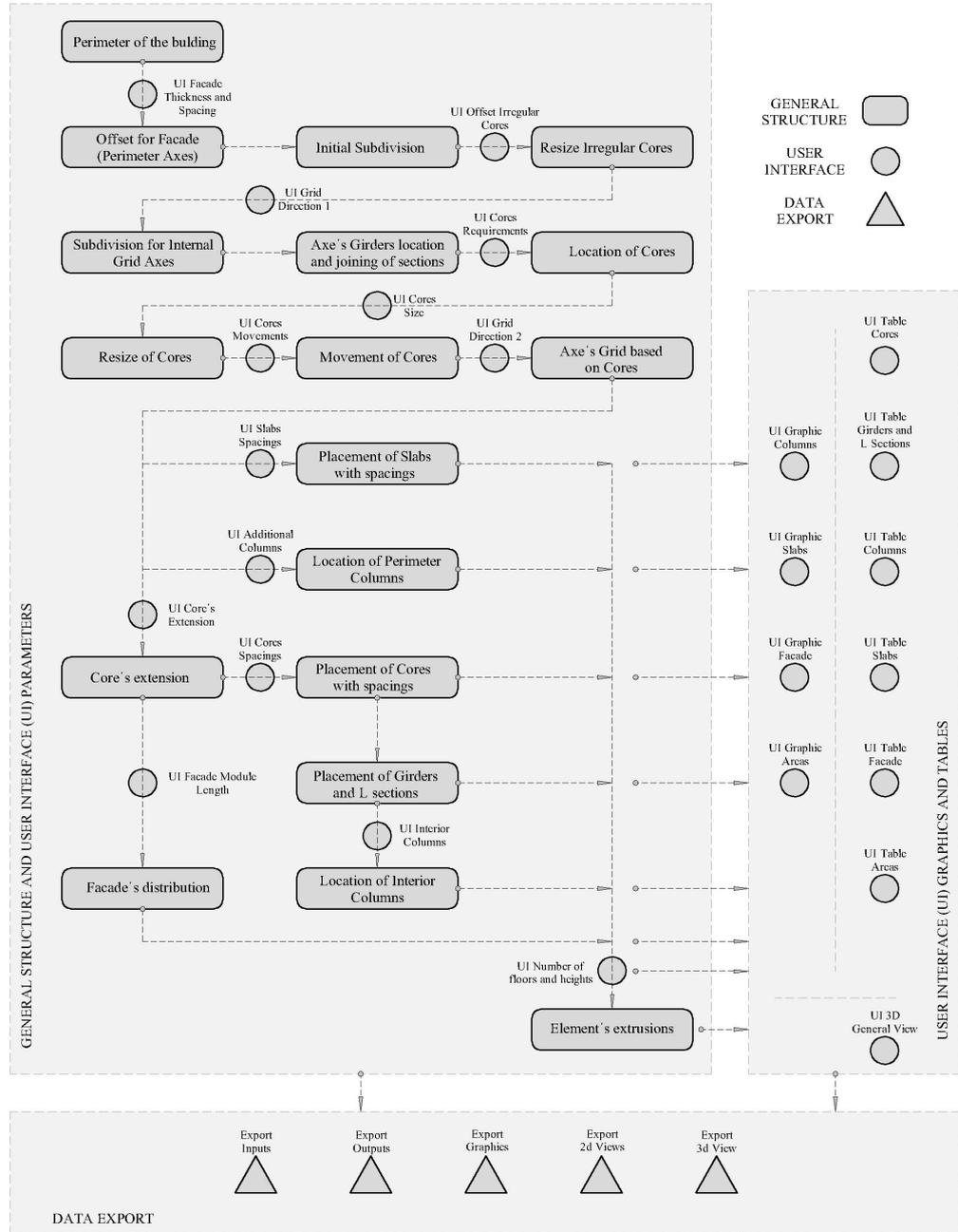
This section presents a prototype of the computational model, developed with Grasshopper and locally processed using Rhinoceros 7 software. It involves three main steps: defining the general structure, creating the User Interface, and processing information for eventual export.

In the general structure of information processing, seventeen steps have been implemented. Starting with the input of the project's perimeter to be designed, these steps enable the automatic definition of the components of the CREE system. It allows user interaction, providing the opportunity for users to assign values to the CREE model parameters as they progress through the configuration (Figure 4).

The order of these steps and their dependencies attend to the relational hierarchies between elements and their parameters. The computational model starts with the location of the perimeter axes of the building, and then, based on this geometry, it looks for an organized way to subdivide the interior area using the dimensions of the hybrid slabs, and then defines the inner grid of axes. To get there, it subdivides the initial shape into basic rectangular shapes, leaving aside the irregular parts, to be taken as cores (to avoid slabs of non-orthogonal shapes). Once these shapes are obtained, they are subdivided once more based on the dimensions of the slabs, to then be joined with the attached sections depending on the continuity of the direction of the axes grid.

With the sections formed, the cores are located automatically. Then the other elements are positioned by having the interior defined with the cores and the grid of axes. Thus, the slabs are positioned with the recommended spacings of the system, the perimeter glulam columns, the steel girders, L sections, and the steel-concrete columns inside. Once the perimeter columns are defined, it is also possible to locate the facade panels. Finally, when the configuration of all the components is obtained in plan, it was proceeded to extrude them and apply the respective elevations, depending on the parameters placed as input for levels heights and number of levels.

**Figura 4**  
Workflow schema of the computational model.

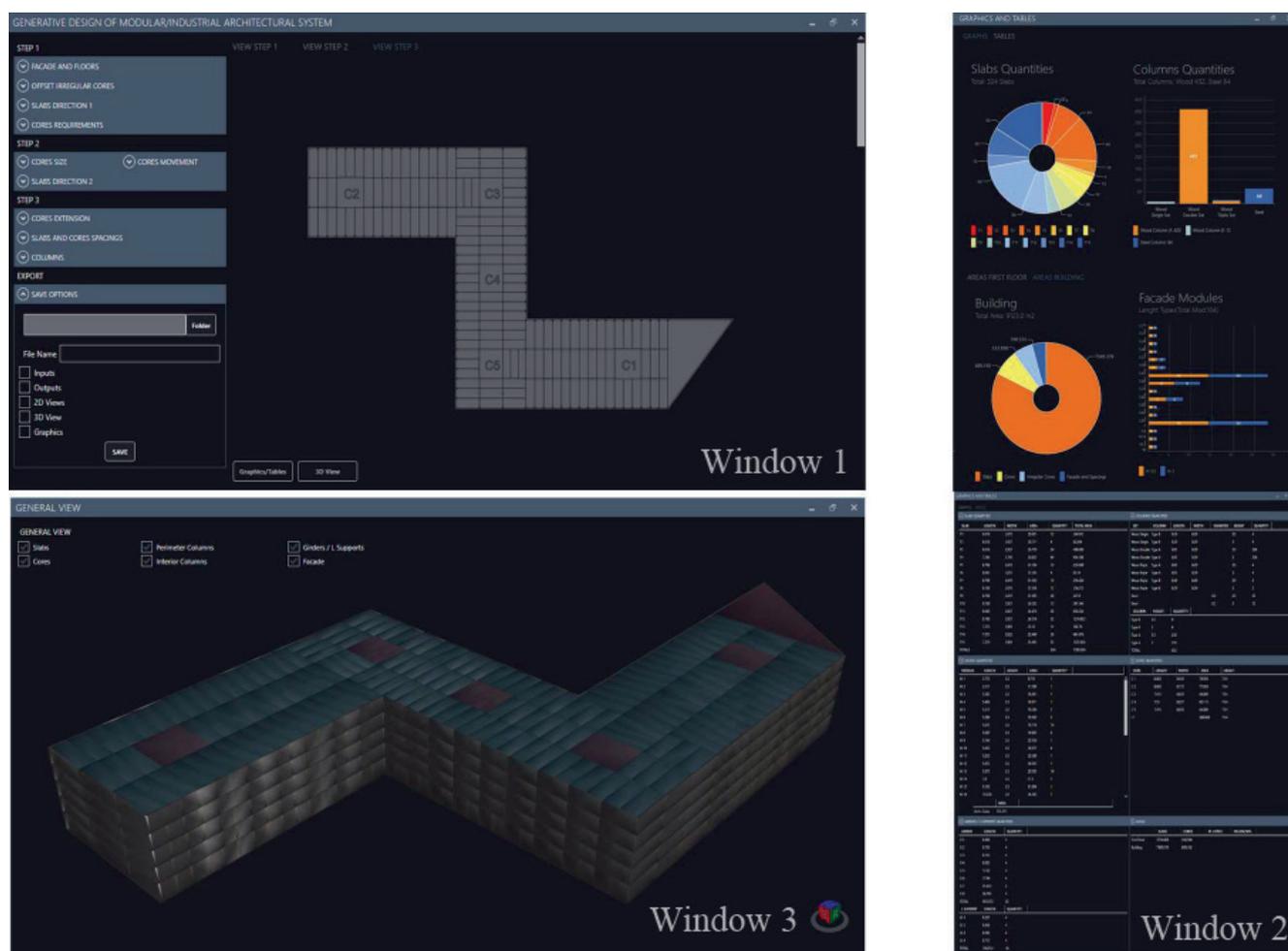


The second part is dedicated to the creation and integration of the User Interface, achieved using the HumanUI plugin for the Grasshopper API. The management and visualization of the information was organized in 5 parts: parameters, 2D views, graphics and tables, 3D view, and data export. These parts of the computational model were grouped into 3 different windows.

The first window contains the computational model list of parameters, the ones that enable automation and user interaction with the project design. These were divided into three steps, corresponding to the order of the general structure. The first step contains the necessary parameters until reaching the point of locations of cores. The second step contains those parameters that intervene in resize and movements of

cores, and axes grid based on cores. Finally, the third step includes the necessary parameters, from the point of core's extension to the extrusion of the project components. Each of the steps was related to a 2D view, allowing to see the progress made (Figure 5).

**Figure 5**  
User Interface of the configurator.



The second window contains the graphs and tables generated from the information provided by the first section of the computational model. With these it is possible to see the information related to the KPIs, of the decisions made during the project configuration process. It contains graphs relative to the amounts of slabs, facade modules, columns and general areas of the project. As for tables, it contains all the information, more detailed, of each one of the components of the prefabricated system. Finally, the third window contains the three-dimensional model of the project, with all the elements classified by colors according to the type of system component. These can also be hidden by typology, to allow a better visualization.

The third section of the implementation of the computational model involves handling the information generated in the first two sections, to be exported and saved. Thus, the inputs of all the parameters selected, and the outputs of the information generated in tables, would be exported in Excel spreadsheet format. The 2D views,

the graphics generated and the 3D visualization window, could be exported in image format. The management of the information to be exported was mainly addressed with the plugin SpreadSheet, that provides components for the organization in tables of groups of information, as well as the possibility of generating screenshots of the graphs and images generated in the user interface.

## 7. Discussions and conclusions

Although the methodology was defined solely in the section dedicated to the computational model's development (aligned with the research goals and available time), the implementation of the locally developed User Interface successfully resulted in a configurator encompassing the key elements sought: (1) implementation of a computational model for a configurator that automates the generation of data and a model for a prefabrication system, and (2) the provision of user interaction in a simple and systematic manner through the definition of a limited set of inputs. The possibility of implementing a web application for the proposed configurator remains open for future development.

The configurator developed showed to be beneficial in obtaining information related to the proposed KPIs and the visualization of the results in tables and graphs that would allow a faster understanding of the feasibility of the project configurations. It was tested in some other examples of building shapes during the process of implementing the computational model to make the necessary adjustments for different building typologies. While the results in terms of graphs, tables, 2D views and 3D views are obtained automatically, it was found that the processing time is quite high, mainly due to the use of the Human UI plugin components. Hence, the computational model developed, in theory, can help in the design phases of a project, by allowing the manipulation and automation of information. However, due to time limitations, it has not yet been tested in the CASAIS company to help in the design processes.

It could also be highlighted that a good level was achieved in terms of ease of use of the tool by people who may not have professional knowledge in design. Although the first input from the configurator still requires the direct use of Rhino, which perhaps makes its use difficult in a certain sense, the rest of the process is carried out from the User Interface. This could be handled in the future, with the implementation of the web browser that would allow drawing within it the initial perimeter input of the building, as it is done in some of the tools investigated and taken as references.

This research contributed to see the significant advantages that BIM, with its associated processes and tools, brings to the objectives of the prefabrication industry in construction. Concepts such as modularization, DfMA, and mass customization can be efficiently developed through BIM technologies, including those explored in tools like configurators. These tools have proven to be a valuable resource for achieving heightened productivity by enabling automation, smoother information flow during the project design phase, and enhanced collaboration among various stakeholders, with a special emphasis on designers and clients.

## Acknowledgements

This research was proposed and carried out in collaboration with TOPBIM, Grupo Casais, which provided resources and openness during the research. This research was supported through the Multiannual Funding of the Landscape, Heritage and Territory Laboratory (Lab2PT), Ref. UID/04509/2020, financed by national funds (PIDDAC) through the FCT/MCTES.

## References

- [1] Auti, S.D., Patil, J.R., 2018. Prefabrication Technology-A Promising Alternative in Construction Industry. *International Journal of Science and Research*.
- [2] Qi, B., Costin, A., 2023. BIM and Ontology-Based DfMA Framework for Prefabricated Component. *Buildings* 13. <https://doi.org/10.3390/buildings13020394>
- [3] Mahmoud, B. Ben, Lehoux, N., Blanchet, P., Cloutier, C., 2022. Barriers, Strategies, and Best Practices for BIM Adoption in Quebec Prefabrication Small and Medium-sized Enterprises (SMEs). *Buildings* 12. <https://doi.org/10.3390/buildings12040390>
- [4] Yuan, Z., Sun, C., Wang, Y., 2018. Design for Manufacture and Assembly-oriented parametric design of prefabricated buildings. *Autom Constr* 88, 13-22.
- [5] He, R., Li, M., Gan, V.J.L., Ma, J., 2021. BIM-enabled computerized design and digital fabrication of industrialized buildings: A case study. *J Clean Prod* 278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123505>
- [6] Bianconi, F., Filippucci, M., Buffi, A., 2019. Automated design and modeling for mass-customized housing. A web-based design space catalog for timber structures. *Autom Constr* 103, 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.002>
- [7] Far, E.R.P., Piroozfar, P.A.E., Robinson, D., 2014. BIM as a generic configurator for facilitation of customization in the AEC industry. *Autom Constr* 45, 119-125.
- [8] Veenstra, V.S., Halman, J.I.M., Voordijk, J.T., 2006. A methodology for developing product platforms in the specific setting of the housebuilding industry. *Res Eng Des* 17, 157-173. <https://doi.org/10.1007/s00163-006-0022-6>
- [9] Bourke, R. (2004) Product Configurators: Key Enabler for Mass Customization – An Overview, *Mindrange Enterprise*. 15 July 2004
- [10] Brandão, J., 2022. Open reWall: Survey-to-Production Workflow for Building Renovation PhD in Architecture of Contemporary Metropolitan Territories, specialization of Digital Architecture.
- [11] Shape Diver. Available at: <https://shapediver.com>

- [12] Hypar. Available at: <https://hypar.io>
- [13] TestFit. Available at: <https://www.testfit.io>
- [14] PlanFinder. Available at: [www.planfinder.xyz](http://www.planfinder.xyz)
- [15] Speckle. Available at: [speckle.systems](http://speckle.systems)
- [16] Rhino Developer. Available at: [developer.rhino3d.com/guides/compute/](http://developer.rhino3d.com/guides/compute/)
- [17] CREE Buildings. Available at: <https://www.creebuildings.com/system>

# Desenvolvimento de ferramentas de suporte ao processo BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.25>

**Luís Pedro Bidarra<sup>1</sup>, Ana Clemente<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *NRV - Consultores de Engenharia, SA, Vila Real*

## Resumo

Após uma primeira fase de transição digital operada no seio da NRV, através da implementação da metodologia de trabalho Building Information Modelling achou-se importante implementar um processo de melhoria contínua que visa desenvolver automatismos e metodologias conducentes a uma maior eficiência global do processo produtivo da empresa.

Neste enquadramento, o presente artigo visa dar a conhecer o processo de Inovação e Desenvolvimento (I&D), desde o diagnóstico das tarefas com potencial de automatização, passando pelo desenvolvimento de metodologias ou processos que visem tornar as tarefas mais eficientes, seja por via de um menor tempo de execução ou por redução da intervenção humana, até à sua disseminação e integração no processo produtivo da empresa. Em todo este processo de I&D foi dado especial ênfase à integração de fluxos de trabalho Open BIM.

Desta forma é também objetivo do presente artigo descrever a evolução processual observada nos projetos BIM entretanto desenvolvidos, salientando-se os principais resultados operacionais alcançados, dificuldades e benefícios encontrados, tal como a avaliação dos ganhos de eficiência efetivos e os desenvolvimentos futuros por forma a automatizar e tornar o processo BIM cada vez mais eficiente.

## 1. Introdução

A NRV é uma consultora de engenharia multidisciplinar com mais de 30 anos que desenvolve a sua atividade em vários domínios: vias de comunicação, infraestruturas urbanas e saneamento básico, aeroportos, obras marítimas e portuárias, edifícios e instalações industriais, ordenamento do território, estruturas especiais (barragens, pontes e túneis), topografia e geotecnia.

A vasta experiência nacional e internacional da NRV permitiu-lhe reconhecer a emergente importância da implementação da metodologia de trabalho *BIM* como garante da manutenção da empresa na vanguarda das mais recentes tendências tecnológicas da indústria *AEC* (Arquitetura, Engenharia e Construção), particularmente em mercados mais desenvolvidos como o europeu, norte-americano ou o médio-orientado.

A aposta na inovação, área onde se insere o universo *BIM*, é encarada como uma necessidade e oportunidade da empresa a participar em projetos aliciantes em mercados exigentes, refletindo-se internamente num processo produtivo muito mais eficiente, numa melhor coordenação entre especialidades e numa melhor gestão da informação digital produzida [1].

A implementação *BIM* foi iniciada em 2019. Durante a primeira fase de implementação, que não aconteceu ao mesmo tempo para todos os departamentos, nem teve a mesma duração, foi dado especial enfoque à formação das equipas envolvidas explorando as capacidades *built-in* das soluções comerciais utilizadas, o Autodesk Revit para o edificado e o Autodesk Civil 3D para projetos viários. Durante este processo, inicialmente de formação e mais tarde de utilização continuada dos softwares comerciais acima mencionados, e com o aumento da especificidade e complexidade dos projetos desenvolvidos foram vindo ao de cima lacunas da *workflow* nativa dos softwares *BIM* na resolução dos desafios de projeto.

Posto isto, considerou-se vital e estratégico para o sucesso desta transição digital, materializada na implementação da metodologia de trabalho *BIM*, a criação de uma equipa de desenvolvimento com a missão de identificar essas mesmas lacunas e colmatá-las recorrendo ao desenvolvimento de software à medida das necessidades da empresa.

Este artigo pretende descrever a estratégia de desenvolvimento de software aliada ao processo de implementação *BIM*, com particular enfoque nos resultados operacionais alcançados, dificuldades e benefícios encontrados, bem como a avaliação dos ganhos de eficiência efetivos e os desenvolvimentos futuros por forma a automatizar e tornar o processo *BIM* cada vez mais eficiente.

## 2. Desenvolvimento como estratégia *BIM*

A equipa de desenvolvimento neste momento resume-se a dois elementos, o *BIM Manager* com funções de coordenação e monitorização dos desenvolvimentos e um

engenheiro informático com funções de programação e consultoria informática das soluções a implementar.

O desenvolvimento de software reveste-se de complexidades, desde a fase embrionária da ideia de desenvolvimento de uma solução para automatizar um determinado processo até à sua difusão pela empresa para utilização por todos os utilizadores, ou mesmo a manutenção dos aplicativos [2].

Por conseguinte, será descrito abaixo em detalhe o nosso processo de desenvolvimento de software, ainda que não seja um processo fechado, pois está também ele em melhoria contínua, por forma a tornar o desenvolvimento cada vez mais eficiente e mais automatizado.



**Figura 1**  
*Workflow* do desenvolvimento de software.

## 2.1. Diagnóstico das necessidades de desenvolvimento

Os aplicativos e processos desenvolvidos pela equipa de desenvolvimento têm origem nas necessidades verificadas pelos projetistas no desenvolvimento do seu trabalho, sendo também uma resposta às metodologias e processos adotados internamente para o desenvolvimento dos projetos segundo a metodologia BIM.

Esta primeira fase de desenvolvimento começa por uma pesquisa intensiva do estado da arte, das soluções comerciais já existentes no mercado que vão de encontro ao desafio que o aplicativo se propõe a resolver. Deve, no nosso entender, existir sempre um critério de rentabilidade associado ao desenvolvimento de software, pois podem já existir soluções comerciais válidas a um custo inferior ao desenvolvimento do aplicativo de raiz.

Quando são encontradas soluções comerciais válidas a um custo bastante inferior ao desenvolvimento interno de um aplicativo cabe à equipa de desenvolvimento criar a *workflow*, materializada num procedimento interno, para que o aplicativo em causa seja integrado no processo produtivo da empresa.

Sempre que o custo das soluções comerciais existentes no mercado é superior ou apenas ligeiramente inferior ao custo de desenvolvimento do aplicativo internamente, é estratégia da empresa avançar com o seu desenvolvimento, pois o grau de customização e de adaptação ao processo produtivo é maior e, acima de tudo, as soluções desenvolvidas internamente são soluções a longo prazo pois as manutenções, atualizações e correção de erros necessários são geridas internamente sem estar dependente de nenhuma *software house*.

## 2.2. Desenvolvimento de software

No desenvolvimento de software, a equipa tem tido como princípio o desenvolvimento de soluções integradas, modulares e com interface de utilizador, deixando de lado soluções não tão integradas, como os scripts de Autocad Lisp, os scripts de Dynamo ou mesmo as macros dos softwares comerciais. Estas soluções apesar de mais simples e de mais rápido desenvolvimento são bastante menos eficientes e de mais difícil manutenção e operacionalização.

Apesar das soluções de desenvolvimento adotadas não recorrerem às ferramentas de programação nativas dos softwares comerciais, como no caso das scripts de Autocad Lisp, das macros ou do Dynamo, a equipa de desenvolvimento tentou também recorrer a ferramentas de programação que não representassem um custo de licenciamento adicional. Assim todo o desenvolvimento tem como base a versão gratuita da conhecida IDE da Microsoft, o Microsoft Visual Studio Express 2017, pois, após pesquisa intensiva de qual a IDE a utilizar, concluiu-se que esta solução detinha todas as funcionalidades necessárias ao desenvolvimento sem representar um custo adicional [3]. Do mesmo modo, o desenvolvimento de aplicativos é realizado com recurso às API disponibilizadas gratuitamente pelos softwares comerciais. Sempre que possível é utilizada a versão *viewer* do software pois, sem necessitar de licença, esta versão dispõe, na maioria dos casos, de todas as funcionalidades necessárias ao desenvolvimento e teste dos aplicativos.

Todos os aplicativos são desenvolvidos com base na linguagem de programação C#, pois existia já o know-how da equipa de desenvolvimento nesta linguagem de programação e esta sendo parte da plataforma .NET adequa-se ao desenvolvimento de aplicativos com recurso às API dos softwares comerciais da Autodesk.

Outro dos desafios que foram surgindo no decorrer do desenvolvimento prendia-se com a segurança do código fonte e o controlo de versões dos aplicativos desenvolvidos. Para o efeito, após pesquisa e teste de várias soluções comerciais, optou-se pela utilização da plataforma GitHub que, para além do armazenamento do código fonte dos aplicativos e do seu controlo de versões, permite o trabalho colaborativo dos vários intervenientes no seu desenvolvimento, mais uma vez sem representar um custo de licenciamento adicional.

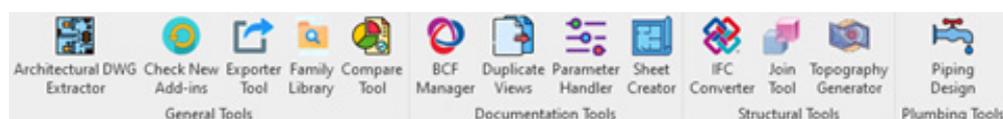
## 2.3. Integração no processo produtivo da empresa

A operacionalização da difusão, monitorização e manutenção dos aplicativos desenvolvidos ao longo do tempo é um processo complexo e que exige não só a adaptação ao processo produtivo da empresa, tal como a integração neste e a criação de *workflows* que tornem viáveis as rotinas, não só de difusão de novos aplicativos como da manutenção dos mesmos [4].

Toda a *workflow* de difusão de novos aplicativos, bem como de atualização ou manutenção dos existentes foi pensada por forma a interferir o mínimo possível no

processo produtivo de cada utilizador. Desta forma, a equipa desenvolveu uma *workflow* que permite o acesso a todos os aplicativos por parte dos utilizadores sem terem de fazer qualquer instalação aquando do desenvolvimento de um novo e sem terem de os atualizar cada vez que é feita uma atualização/manutenção aos existentes.

Assim, os aplicativos desenvolvidos, após um meticoloso processo de *debug* [5], são colocados numa *toolbar* chamada “NRV Toolbox”, organizados por categorias e acompanhados de um manual de utilização onde constam não só as instruções para a correta utilização do aplicativo, como todos os princípios que foram utilizados durante o desenvolvimento, para que os utilizadores possam perceber em detalhe os automatismos do aplicativo em causa.



**Figura 2**  
Add-ins desenvolvidos para Autodesk Revit.

Desde início achou-se por bem que, numa empresa internacional como a NRV, os aplicativos assim como os respetivos manuais fossem desenvolvidos em inglês para facilitar a utilização destes por colaboradores de diferentes nacionalidades em diferentes geografias.

Os aplicativos são alvo de manutenções regulares para fazer face às atualizações das API cada vez que é lançada uma nova versão do software, o que resulta na introdução de novos métodos na API, potencialmente importantes para os aplicativos, bem como a extinção de outros métodos que entretanto se vão tornando obsoletos, obrigando a que se refaçam alguns trechos de código. Para além das manutenções regulares frequentemente há também lugar a atualizações de funcionalidades entretanto pedidas pelos utilizadores ou mesmo correção de erros, pois o melhor processo de *debug* é a utilização continuada no dia-a-dia de projeto por parte dos utilizadores.

Mais uma vez, tendo em vista a segurança dos aplicativos e do seu código fonte foi desenvolvido pela equipa de desenvolvimento um sistema de licenciamento que impossibilita a utilização dos mesmos fora da rede de cada escritório da NRV.

### 3. Casos de estudo / exemplos de aplicativos desenvolvidos

Desde a criação da equipa de desenvolvimento muitos aplicativos já foram desenvolvidos, uns relativos à automatização da metodologia de trabalho BIM, outros de âmbito mais organizacional. Abaixo serão explanados alguns dos aplicativos desenvolvidos para fazer face a algumas lacunas na *workflow* nativa do softwares BIM. Todos os aplicativos abaixo foram desenvolvidos com recurso à API do Revit e à linguagem de programação C#.

- **Initializer**

O Initializer inicialmente foi desenvolvido para fazer face a uma lacuna do software BIM na abertura de ficheiros. Como se sabe, o Revit aquando da abertura de um novo ficheiro abre por defeito com a última versão de Revit aberta ou com a versão que está aberta naquele momento, o que dificulta a abertura de diferentes ficheiros em diferentes versões do software, levando muitas vezes a atualizações involuntárias dos modelos. O aplicativo desenvolvido determina qual a versão do ficheiro em causa abrindo-o na versão correta automaticamente.

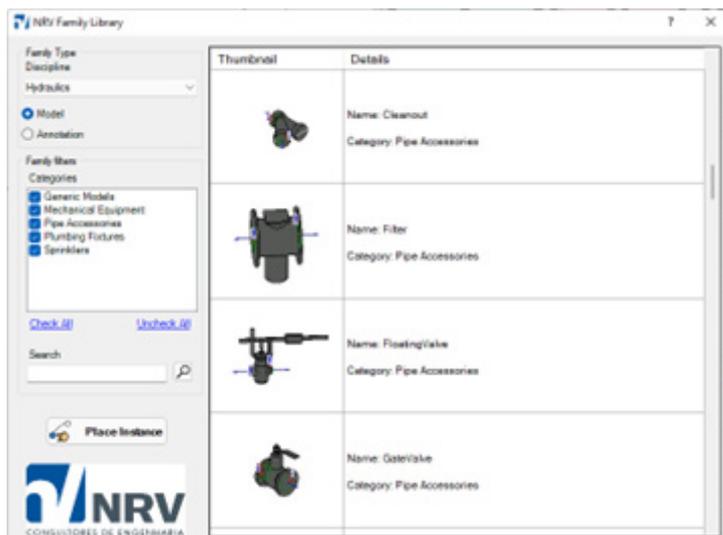
No decorrer do desenvolvimento foram surgindo outras ideias de desenvolvimento como a possibilidade de automatizar a criação tanto de modelos simples como de modelos colaborativos.

Outra das funcionalidades que também se achou interessante incluir no aplicativo foi a configuração automática dos atalhos de teclado, a localização dos *templates* e da biblioteca de famílias, assim como dos aplicativos desenvolvidos, isto para que cada utilizador quando inicia o software BIM, já o tenha devidamente configurado de acordo com os standards da empresa.

- **Family library**

Este aplicativo foi desenvolvido para, por um lado facilitar o carregamento e colocação das famílias nos modelos, e por outro lado haver apenas uma biblioteca de famílias para toda a empresa e não uma biblioteca de famílias no computador de cada utilizador. A qualidade final dos modelos BIM é naturalmente consequência da qualidade individual das famílias, sendo vital que todos os utilizadores utilizem nos modelos apenas as famílias que constam no aplicativo pois estas foram devidamente validadas pelo BIM Manager.

As famílias apenas são acessíveis aos utilizadores via aplicativo, para que não possam existir adulterações às famílias já validadas. Assim, para além do aplicativo desenvolvido na forma de *add-in* para a versão completa do Autodesk Revit foi preciso desenvolver também um aplicativo independente para os utilizadores da versão LT, pois esta versão não tem acesso à API, impossibilitando o desenvolvimento de soluções mais integradas como os *add-ins*.



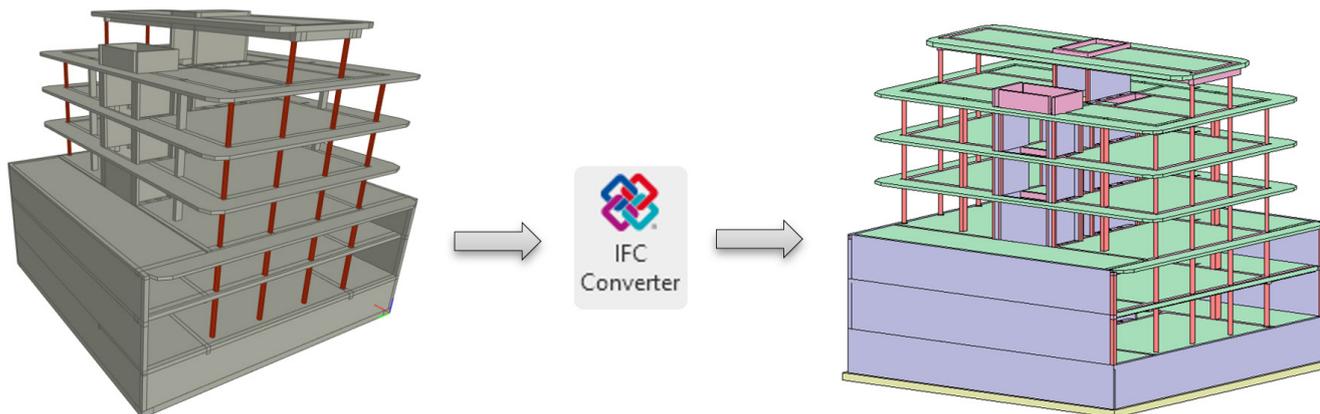
**Figura 3**  
Family Library.

#### • IFC converter

O IFC, formato de Open BIM amplamente utilizado por quase todos os softwares de modelação ou de cálculo estrutural apresenta-se como a melhor solução de interoperabilidade entre os vários softwares e os vários intervenientes no projeto [6]. Embora os softwares comerciais, consigam importar ficheiros IFC, os elementos importados não são elementos nativos, impossibilitando futuras edições ao modelo e perdendo parte do potencial de utilização dos ficheiros IFC no processo produtivo BIM. Esta perda de interoperabilidade na utilização de ficheiros IFC é particularmente impactante quando utilizamos um software de cálculo estrutural que apenas exporta para IFC e posteriormente pretendemos desenvolver um modelo mais detalhado no software de modelação BIM.

Deste modo, o IFC Converter foi pensado numa ótica de Open BIM para melhorar e automatizar a interoperabilidade entre os vários softwares utilizados no processo produtivo da empresa.

O aplicativo desenvolvido converte um ficheiro IFC num ficheiro RVT bastando apenas ao utilizador seleccionar qual a família de objeto correspondente a cada tipo de objeto do IFC. Deste modo, o modelo RVT é gerado com base nas famílias seleccionadas pelo utilizador, permitindo a posterior manipulação do modelo preservando toda a geometria e a informação que constavam do ficheiro IFC. O desenvolvimento deste aplicativo permite assim “atalhar” caminho e com isso poupar muito tempo face ao desenvolvimento de um modelo Revit de raiz.



**Figura 4**  
Workflow para  
conversão de ficheiros  
IFC para RVT.

#### • BCF manager

Mais uma vez tendo por base as metodologias de trabalho Open BIM e do modo a facilitar as trocas de informação entre todos os intervenientes, achou-se relevante o desenvolvimento de um aplicativo que permitisse as trocas de informação de uma maneira fácil e transversal aos vários softwares BIM utilizados [7].

Dessa maneira foi desenvolvido um aplicativo de partilha de informação apoiada no modelo 3D sob a forma de *snapshots* e comentários categorizados adicionados pelos intervenientes com recurso ao formato aberto BCF (*BIM Collaboration Format*) para troca de informação relativa à coordenação dos modelos BIM [8].

Adicionalmente foi também desenvolvido um módulo de visualização gráfica que permite ao utilizador visualizar e correlacionar importantes indicadores como a quantidade, o tipo ou estado das questões relativas ao projeto em causa. Desta maneira é possível ao coordenador de projeto, tal como ao BIM Manager monitorizar em tempo real a progressão de um determinado projeto, podendo deste modo, tomar decisões mais informadas e conseqüentemente mais acertadas acerca dos desenvolvimentos dos trabalhos. O aplicativo inclui ainda a possibilidade de exportar todo o conteúdo do BCF para um ficheiro de MS Word para alguma troca de informação externa que ainda tenha de ser feita da forma tradicional.

Neste momento o BCF Manager está desenvolvido como *add-in* para Revit e como aplicação nativa de *Windows*, para utilizadores da versão LT ou qualquer outro software. Está também em desenvolvimento o *add-in* do BCF Manager para Navisworks e futuramente o seu desenvolvimento será também alargado aos restantes softwares utilizados no processo produtivo da empresa.

#### • Join tool

O processo de *joins* no Revit é um processo tedioso e sujeito a erro humano, pois o software neste momento apenas permite executar os comandos de *join* individualmente. Assim, para automatizar este importante processo de modelação, que tem

impacto direto não só na extração de quantidades como nas peças desenhadas, foi desenvolvido um aplicativo para automatizar este processo.

O utilizador para além da versatilidade de escolha dos elementos, selecionando as instâncias pretendidas ou selecionando por família, categoria ou tipo de elemento, pode executar automaticamente os comandos nativos de “Join”, “Switch Join Order” ou “Unjoin”.

Para além desta automatização a equipa de desenvolvimento quis ir mais longe criando um conjunto de regras de *join*, de prioridade entre categorias de elementos, de maneira a que o aplicativo execute todos os *joins* do modelo de uma só vez, de uma maneira automática e sem possibilidade de erro humano.

#### • Topography generator

A geração de uma topografia no Autodesk Revit resume-se a um mecanismo nativo de triangulação entre linhas ou pontos cotados. Esta funcionalidade, ainda que útil em alguns casos não é suficiente para fazer face às necessidades do dia-a-dia de projeto. Na grande maioria dos casos o que se pretende com a modelação da topografia é a reprodução fiel do modelo digital do terreno já triangulado e devidamente validado pela equipa de topografia.

Tendo em conta que o software BIM não dispõe desta importante funcionalidade entendeu-se que o caminho a seguir seria o desenvolvimento de um aplicativo que conseguisse reproduzir o modelo digital do terreno recebido da equipa de topografia.

No decorrer do desenvolvimento achou-se também importante dotar o aplicativo da capacidade da integração de um ortofoto na topografia gerada para uma melhor visualização da envolvente no software de modelação.



**Figura 5**  
Topografia gerada mantendo a triangulação do MDT (com ortofoto).

- **Piping design**

Apesar do Revit dispor de um mecanismo de dimensionamento de redes de abastecimento e drenagem de águas, este respeita os princípios de cálculo das normas norte americanas, naturalmente diferentes das normas de dimensionamento de redes hidráulicas portuguesas. Desse modo, achou-se conveniente o desenvolvimento de um aplicativo que fizesse o dimensionamento das redes de abastecimento de água de acordo com os princípios de cálculo da legislação atualmente em vigor [9].

O aplicativo desenvolvido, baseia-se nos caudais das famílias de equipamentos hidráulicos, já definidos de acordo com a regulamentação portuguesa, e permite ao utilizador o dimensionamento das redes de abastecimento de água diretamente no software de modelação, de um modo muito mais eficiente e sem erro humano.

Após o dimensionamento hidráulico e a consequente alteração automática do diâmetro das tubagens e dos acessórios, o aplicativo permite ainda ao utilizador efetuar a verificação de pressão no ponto mais desfavorável da rede hidráulica de modo a garantir que a pressão disponibilizada na rede pública cumpre as disposições regulamentares.

- **Sheet creator e duplicate views**

Este conjunto de aplicativos foi desenvolvido para fazer face a uma lacuna do processo de criação de vistas e folhas do Revit que apenas permite a duplicação de uma vista e a criação de uma folha de cada vez. Assim, o aplicativo desenvolvido permite a múltipla criação ou duplicação das vistas e das folhas, assim como a renomeação automática destas.

No aplicativo para além de funcionalidades de preenchimento automático dos parâmetros das folhas foi também desenvolvido um algoritmo que permite a colocação automática de vistas nas folhas o que agiliza muito o processo de duplicação de vistas e criação de folhas no modelo.

Estimamos que com o desenvolvimento destes aplicativos se consiga otimizar os tempos de execução de tarefas de duplicação de vistas, criação de folhas e colocação de vistas em folhas em cerca de 60%.

- **Compare tool**

O Compare Tool foi pensado como um aplicativo de comparação de modelos BIM. Este tipo de análises são particularmente úteis para quantificar o nível de alterações, por exemplo de uma nova versão de um projeto de arquitetura e desse jeito conseguir prever qual o real impacto que essas alterações terão nos trabalhos de engenharia e qual o custo da reprodução dessas alterações nos modelos de estruturas e das especialidades envolvidas. Para o efeito foi desenvolvido um módulo de visualização gráfica que permite ao utilizador visualizar e correlacionar importantes indicadores

como o número de alterações por categoria de objeto, o tipo de alteração ou o número de alterações por piso.

#### • Exporter tool e architectural DWG extractor

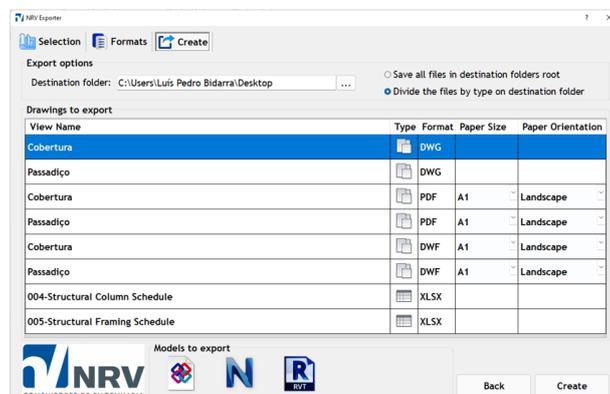
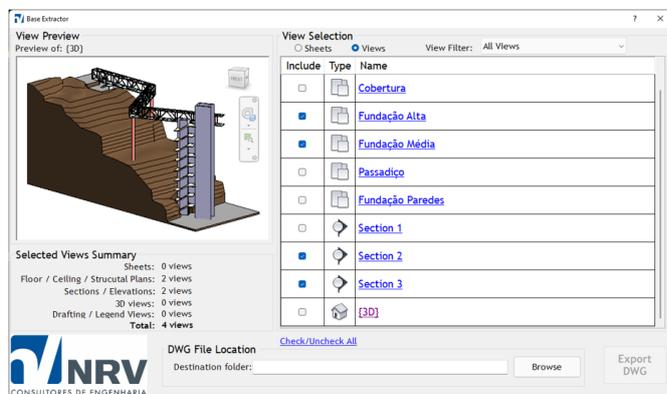
O Exporter Tool foi pensado como um exportador automático para o Revit, pois o processo de exportação nativo não só de desenhos, como de modelos é um processo demorado, com muitos menus e muitas configurações possíveis, o que torna o processo moroso e passível de erro por parte do utilizador. Para além da complexidade do processo de exportação nativo, após a exportação existe ainda um trabalho suplementar por parte do utilizador não só na renomeação dos ficheiros CAD extraídos como na limpeza dos ficheiros RVT a enviar ao cliente, ou na conversão das *schedules* exportadas para MS Excel.

Desta maneira, o utilizador com a ferramenta desenvolvida consegue exportar de uma só vez as peças desenhadas para os formatos DWG, DWF e PDF, as *schedules* para MS Excel e o modelo para os formatos IFC, NWC e RVT. Todos os ficheiros exportados são automaticamente renomeados de acordo com os standards da empresa e o modelo é limpo, reduzindo o seu tamanho e evitando a partilha de informação não relevante para o cliente.

Outro dos desafios com que frequentemente nos deparamos no dia-a-dia de projeto prende-se com a exportação de peças desenhadas de modelos externos de arquitetura para CAD. A grande maioria das vistas nos modelos chega-nos com configurações de visualização diferentes das que as equipas de projeto necessitam. Para automatizar todo este processo, manual e moroso na preparação das bases de arquitetura, foi desenvolvido o Architectural DWG Extractor para a exportação para DWG das peças desenhadas dos modelos de arquitetura com as configurações de visualização e exportação que as equipas de projeto necessitam.

Estimamos que com o desenvolvimento destes aplicativos se consiga otimizar os tempos de execução deste processo moroso e passível de erro humano em mais de 80%.

**Figura 6**  
Workflows automáticos para exportação de desenhos/modelos.



- **Parameter handler**

A gestão de todo o mecanismo de parâmetros no Revit é um processo complexo, mas de vital relevância para os fluxos de trabalho inerentes aos usos BIM do modelo. A edição dos parâmetros de projeto e dos parâmetros compartilhados apenas pode ser feita individualmente para cada parâmetro o que torna o processo global de gestão dos parâmetros moroso e passível de erro humano.

É importante que a workflow de gestão e manipulação dos parâmetros seja o mais flexível e versátil para a eficiência global do processo BIM. Desta forma, foi desenvolvido o Parameter Handler, por forma a permitir não só a gestão integrada e automática dos parâmetros de projeto e dos parâmetros compartilhados do modelo como o preenchimento destes de forma mais versátil.

#### 4. Conclusões e desenvolvimentos futuros

O desenvolvimento de aplicativos associados às soluções de softwares comercializados utilizados no processo produtivo da empresa tem tido um impacto bastante positivo na agilização da transição digital inerente à utilização da metodologia de trabalho BIM pois, permite não só customizar e adaptar os softwares comerciais ao processo produtivo da empresa como também aumentar a interoperabilidade entre os vários softwares comerciais utilizados no processo produtivo da empresa devido ao aumento da inclusão de fluxos de trabalho Open BIM, materializados na adoção dos formatos de ficheiro aberto IFC e BCF.

Desta forma, o desenvolvimento de aplicativos apresenta-se como uma solução de futuro, pois representa um custo extremamente baixo, dado que não existe qualquer custo associado ao licenciamento de software de suporte ao desenvolvimento de aplicativos, nem qualquer custo associado à aquisição de software ou serviços de desenvolvimento em regime de *outsourcing* o que a torna o desenvolvimento de aplicativos um investimento com retorno garantido, pois os ganhos de produtividade superam em muito os custo de desenvolvimento.

Como desenvolvimentos futuros destaca-se a intenção de desenvolver um aplicativo para automatizar a modelação com base em nuvens de pontos, assim como de aplicativos de apoio à modelação de armaduras em elementos de betão e extração automática do quadro de pilares.

O processo produtivo de uma empresa com vários âmbitos de atuação reveste-se de complexidades e certamente haverá ainda muitos processos passíveis de automatização, não só em Revit ou em Civil 3D, como em todos os outros softwares utilizados. Essa continuará a ser a missão da equipa de desenvolvimento, continuar a desenvolver internamente software de apoio ao processo produtivo da empresa, tornando este mais eficiente e facilitando a transição digital associada à adoção da metodologia de trabalho BIM.

## Referências

- [1] E. A. Poirier, S. Staub-French, and D. Forgues, “Measuring the impact of BIM on labor productivity in a small specialty contracting enterprise through action-research,” *Automation in Construction*, vol. 58, pp. 74-84, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.autcon.2015.07.002.
- [2] T. Päivärinta and K. Smolander, “Theorizing about software development practices,” in *Science of Computer Programming*, Apr. 2015, vol. 101, pp. 124-135. doi: 10.1016/j.scico.2014.11.012.
- [3] E. M. Arvanitou, A. Ampatzoglou, A. Chatzigeorgiou, and J. C. Carver, “Software engineering practices for scientific software development: A systematic mapping study,” *Journal of Systems and Software*, vol. 172, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.jss.2020.110848.
- [4] W. Behutiye *et al.*, “Management of quality requirements in agile and rapid software development: A systematic mapping study,” *Information and Software Technology*, vol. 123. Elsevier B.V., Jul. 01, 2020. doi: 10.1016/j.infsof.2019.106225.
- [5] R. Caballero, E. Martin-Martin, A. Riesco, and S. Tamarit, “A unified framework for declarative debugging and testing,” *Information and Software Technology*, vol. 129, p. 106427, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2020.106427>.
- [6] F. Noardo, K. A. Ohori, T. Krijnen, and J. Stoter, “An inspection of ifc models from practice,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 5, pp. 1.28, Mar. 2021, doi: 10.3390/app11052232.
- [7] M. Oraee, M. R. Hosseini, D. J. Edwards, H. Li, E. Papadonikolaki, and D. Cao, “Collaboration barriers in BIM-based construction networks: A conceptual model,” *International Journal of Project Management*, vol. 37, no. 6, pp. 839-854, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.ijproman.2019.05.004.
- [9] J. P. Martins and A. Monteiro, “LicA: A BIM based automated code-checking application for water distribution systems,” *Automation in Construction*, vol. 29, pp. 12-23, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.autcon.2012.08.008.



# Análise de dados: Power BI na metodologia BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.26>

**Pedro Ferreira<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *HCI Construções, S.A.*

## Resumo

No setor da construção, a metodologia BIM tornou-se uma ferramenta indispensável para otimizar a execução da obra. Mas a riqueza da informação introduzida nos modelos não chega a todos os intervenientes de forma simples e clara. Para potencializar os benefícios do BIM, a integração do Microsoft Power BI como uma solução de *Business Intelligence* tem-se destacado como uma prática eficaz na HCI.

Com a capacidade de consolidar as informações dos modelos, os diretores de obra, medidores e encarregados podem visualizar dados complexos de maneira intuitiva. Isso facilita a comunicação entre as equipas, permitindo que todos compreendam rapidamente o estado da obra, e as metas a serem alcançadas em cada fase.

No contexto do faseamento da obra, o Microsoft Power BI destaca-se ao proporcionar uma visão detalhada do progresso em tempo real. Isso inclui informações sobre o faseamento, a ligação ao articulado, os dados dos modelos e a comparação com o mapa de quantidades vs. Modelos BIM. Os diretores de obra podem identificar atrasos potenciais e tomar medidas corretivas antes que afetem significativamente a obra. Isso aumenta a eficiência da comunicação e a coordenação entre diferentes elementos da obra.

A utilização do Microsoft Power BI na gestão de dados da metodologia BIM revoluciona a forma como as obras são executadas. A criação de *dashboards* para análise de dados e acompanhamento do faseamento construtivo tornam-se mais acessíveis e eficazes, promovendo maior eficiência, transparência e qualidade nas obras.

## 1. Estado da Arte

### 1.1. Parte 1

A construção, historicamente ancorada em métodos tradicionais, enfrenta desafios cruciais na forma como trata a informação ao longo do processo. A criação de dados, muitas vezes fragmentada e descentralizada, é uma característica da metodologia tradicional. O Building Information Modeling (BIM) surge como uma resposta inovadora para transformar essa dinâmica.

No método tradicional de uma empresa de construção, a gestão e criação de informação envolvem diversos intervenientes, com diferentes qualificações e perspectivas sobre todo o processo de construção.

Todas essas variantes obrigam a uma partilha de informação que não está centralizada exigindo um esforço de cada interveniente na receção e alocação dessa informação no seu dia a dia para contribuir para desenvolvimento global desse processo.

Planear - Preparar – Quantificar – Comparar - Adjudicar – Instalar – Compilar

Cada uma destas etapas têm fluxos de criação de informação, desenvolvidos por vários intervenientes, cada um com diferentes necessidades de informação.

As informações identificadas no processo de uma construtora, desde a comercial até à entrega das telas finais / “*As Built*”, passam pelos seguintes pontos principais:

- Transição do mapa de quantidade de trabalhos para a produção;
- Desenvolvimento um planeamento inicial macro com pontos-chave por atividades críticas;
- Associação de atividades por recursos e artigos;
- Preparar a obra com desenhos de apoio por tipo de atividade;
- Adjudicação de atividades (subempreitadas) ou encomendar materiais;
- Entrada em obra e instalação;
- Compilação Técnica da Obra e Telas Finais.

Estas tarefas macro geram informação que influencia o prazo e o custo da obra, culminando na compilação técnica da obra que estará correlacionada com as telas finais.

Todos estes fluxos deveriam estar interligados, desde as peças escritas até às peças desenhadas.

Na metodologia tradicional, associar os elementos desenhados à informação não geométrica é um processo impossível.

## 1.2. Parte 2

Neste artigo, pretende-se apresentar uma melhoria no processo de gestão de informação de uma construtora, abordando as tarefas macro identificadas anteriormente.

Na implementação BIM da HCI construções, S.A. definiu-se que todos os modelos BIM, estão na plataforma Docs da Autodesk Construction Cloud, seguindo o Common Data Environment (CDE) de acordo com a norma ISO 19650 [1] [2]. Adicionalmente, os modelos são todos Cloud Models ou Work sharing (Collaborate Pro).

O desenvolvimento BIM na HCI construções, S.A., concentra-se também na preparação da obra dentro da metodologia BIM. Essa abordagem resulta em modelos detalhados e ricos em informação não geométrica.

A questão subsequente foi como integrar a informação geométrica dos modelos às demais informações da obra e como torná-la acessível a todos os intervenientes do processo.

A informação desenvolvida nos modelos BIM encontra-se sob a responsabilidade dos preparadores e da equipa BIM central HCI.

Um dos objetivos da implementação BIM é disponibilizar essa informação desenvolvida por preparadores e equipa BIM central a outros intervenientes, como diretores de obra, medidores e diretamente na frente de obra, nos encarregados.

Iniciámos o processo desenvolvendo *dashboards* no Microsoft Power BI contendo as principais informações dos modelos BIM. Esses *dashboards* foram partilhados com vários intervenientes da obra, desde diretores de obra, medidores até encarregados e preparadores.

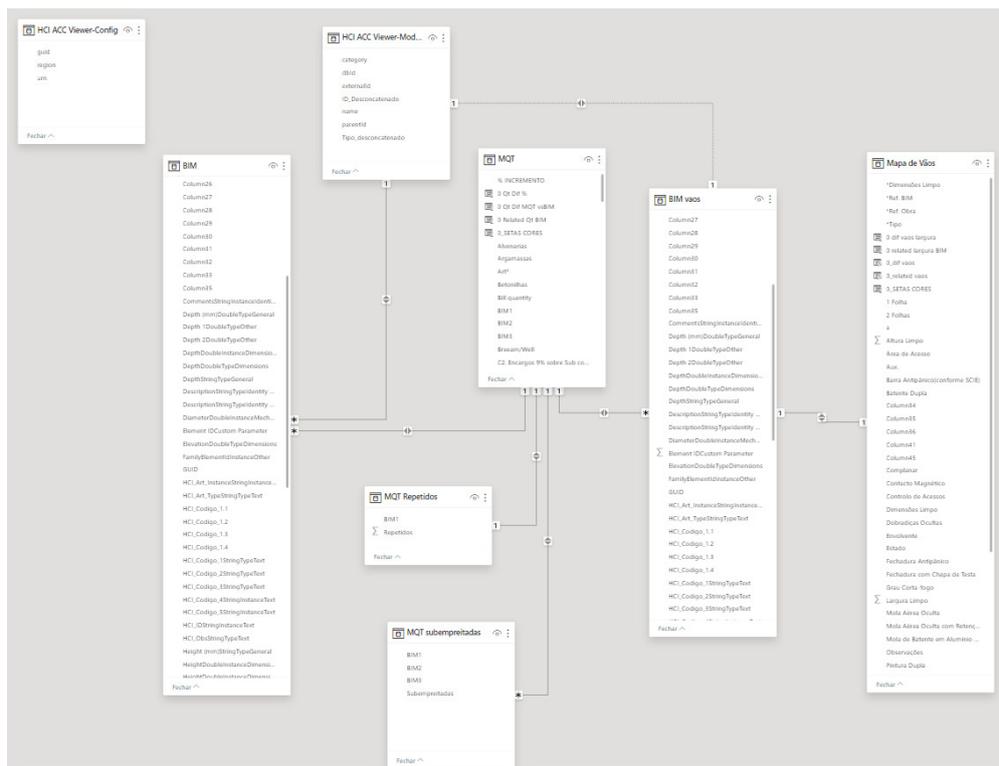
O primeiro estágio de partilha de informação dos modelos através de links para os *dashboards* produzidos no Microsoft Power BI, foi amplamente adotado por todos os intervenientes da obra.

Em seguida, expandimos a abrangência, adicionando outros dados da obra e associando-os aos modelos BIM através do Microsoft Power BI. Sincronizámos toda a informação num único repositório atualizado e partilhado com a equipa da obra.

Os dados da obra que foram associados e “ligados” aos modelos através do Power BI incluíram o mapa de quantidades (MQT), lista de preços unitários (LPU), vários planeamentos e o desenvolvimento em obra.

Este processo proporcionou uma integração mais eficiente de dados e informações, promovendo uma gestão mais coordenada e abrangente ao longo do ciclo do projeto.

**Figura 1**  
Ligações das Bases de  
Dados no Power BI.



Com estas ligações no Microsoft Power BI cada alteração nos modelos BIM reflete-se automaticamente nas quantidades, nos custos, no planeamento e na receção dos materiais / equipamentos em obra.

A partir deste momento, passamos a chamar a este processo o “OpenBIM HCI” (abrir o BIM as pessoas não especialistas BIM), uma vez que conseguimos abrir os dados dos modelos (gráfica e não gráfica) a todos os intervenientes, desde os preparadores e especialistas BIM até aos diretores de obra e encarregados.

Assim, todos possam aceder à informação dos modelos integrada com os restantes dados da obra, proporcionando uma base sólida para uma tomada de decisões mais informada.

Quando se fala em Open BIM, o primeiro pensamento é interoperabilidade entre softwares e formatos abertos IFC, o que está correto. Contudo o Open BIM também terá de ser pensado em abrir a metodologia BIM a pessoas não especialistas em softwares BIM, mas que têm necessidade de interagir com os dados produzidos assentes na metodologia BIM.

## 2. Metodologia desenvolvida e casos de aplicação

O principal desbloqueador para a utilização e “aceitação” dos *dashboards* desenvolvidos no Microsoft Power BI, foi a capacidade de incorporar no Power BI um visualizador 3D dos modelos.

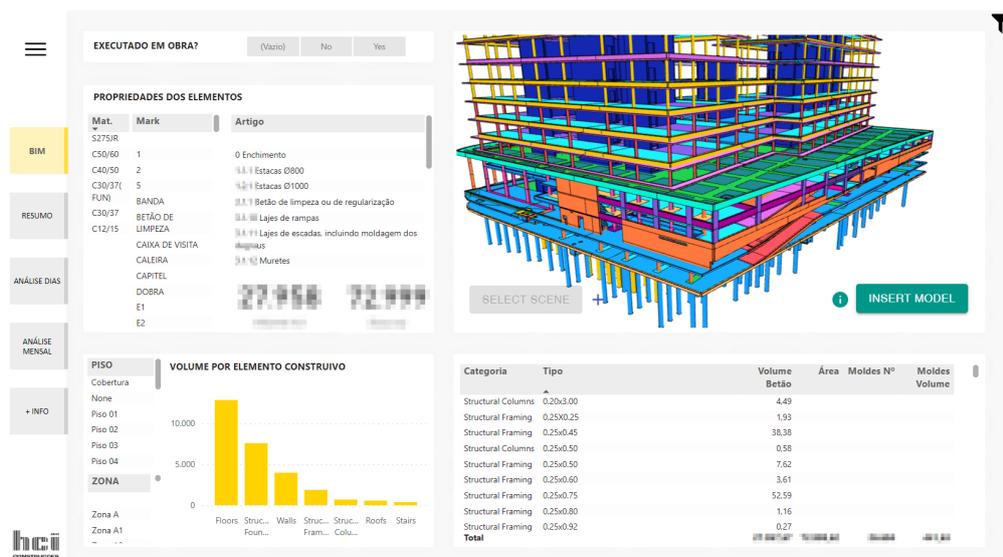


Figura 2  
Dashboard BIM de  
Estrutura.

Neste primeiro visualizador 3D [3] utilizado pela equipa BIM, era necessário instalar um plugin no Revit que permitisse a exportação geométrica (3D) para o Microsoft Power BI. Posteriormente, era necessário associar os elementos não geométricos através do “elementID” de cada elemento geométrico.

A partir destas ligações, começou-se a extrair os dados do Revit e a conectá-los com o visualizador 3D instalado no Microsoft Power BI. Através do Addin DiRoots, foi possível criar um *template* de extração de dados para incorporar no Power BI.

Também foi desenvolvida uma matriz no Revit, através das famílias Rooms, para o faseamento do betão armado, que foi associado ao Power BI. Os Rooms definiram os espaços limites de transição das juntas de betonagem, e agrupam todos os elementos dentro dos seus volumes.

Com todos estes dados, iniciou-se a integração dos modelos de estrutura, com o faseamento do betão pelas juntas de betonagem. O primeiro *dashboard* com relatório foi partilhado através de um link para a web aos diretores de obra, medidores e encarregados. Após essa partilha, a interação e os pedidos de organização de informação BIM formaram o primeiro *template* no Power BI. Este *template* foi organizado para as várias equipas da obra com informação por piso, zona de betonagem, material, tipo de elemento construtivo, áreas, volumes, *marks* e *comments*.

O passo seguinte foi associar a informação BIM aos diversos planeamentos e ao acompanhamento de obra, com o controlo do estado de execução em relação ao planeamento definido.

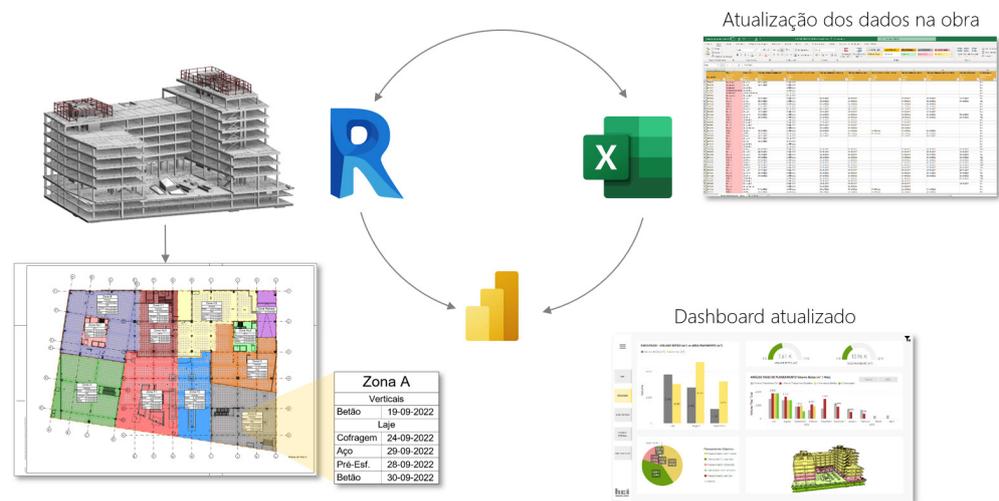
Com a ligação do planeamento aos dados dos modelos de estrutura, desenvolvidos e atualizados pelos preparadores em obra e pela equipa BIM, foi possível saber em tempo real as quantidades necessárias para encomenda de betão. Também foi possível ajustar o planeamento de estrutura com as quantidades de cada fase, garantindo a rentabilidade das equipas em obra.

**Figura 3**  
Dashboard BIM com ligação aos vários planeamentos.



Este processo foi desenvolvido de modo que os dados fossem introduzidos pela obra e integrados no processo BIM. Criámos um passo intermedio, que consistia na criação de um Excel / Project para o preenchimento em obra. Todos os dados da obra estão no SharePoint da Microsoft, com acesso da equipa de obra e dos vários departamentos da sede da HCI, alimentando o fluxo no Microsoft Power BI. Este passo permite que a equipa da obra seja autónoma, sem depender da equipa BIM na introdução e atualização dos dados.

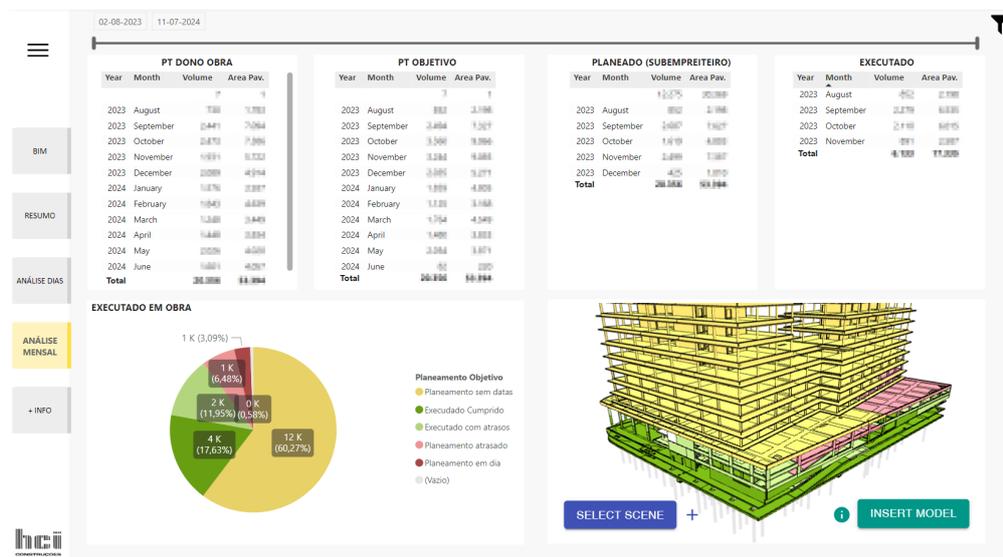
**Figura 4**  
Relação entre vários programas (Revit-Excel- Power BI).



Todos os dados introduzidos no Excel alimentam tanto o Microsoft Power BI, para atualização dos dashboards quanto o Revit para extração e atualização de peças desenhadas.

Em relação ao Microsoft Power BI, foram desenvolvidas *Queries*, para garantir a consistência dos dados e permitir relações diretas com os dados da obra e dos modelos BIM.

Foram criadas formulas para análise dos vários planeamentos, emitindo alertas em caso de atrasos no planeamento ou mesmo em execução.



**Figura 5**  
Dashboard BIM análise  
vários planeamentos.

Por fim, foi criado um separador com a explicação das fórmulas utilizadas e a demonstração dos períodos de atualização em que o Power BI recarregaria os dados das várias fontes e faria as publicações agendadas automaticamente. No total, definiu-se que os *dashboards* seriam atualizados quatro vezes por dia.

Após o desenvolvimento e partilha dos *dashboards* de Estrutura, iniciou-se o desenvolvimento dos *dashboards* de arquitetura.

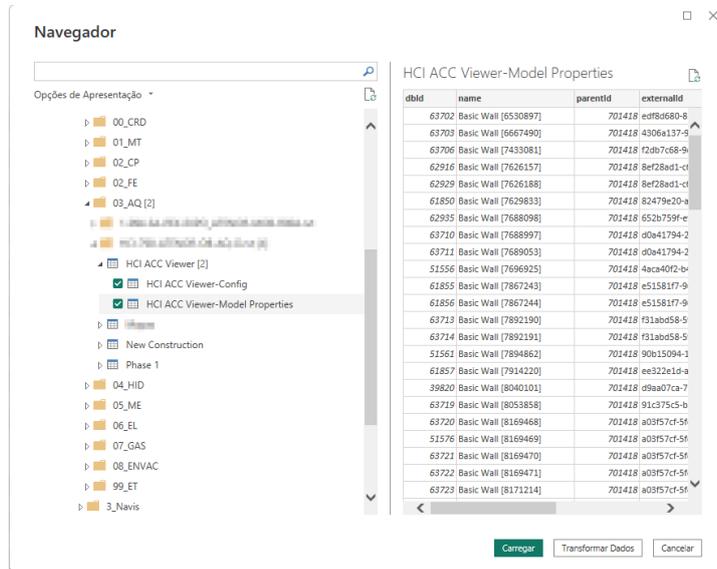
Neste momento, enfrentou-se um grande desafio, pois os modelos de arquitetura tinham muita informação geométrica e não geométrica, e o visualizador utilizado para a estrutura não tinha capacidade para processar todos os dados. Foi necessário repensar outra estratégia para a arquitetura.

Utilizou-se um visualizador 3D [2] desenvolvido pela Autodesk Platform Service (APS), que permite a ligação aos modelos que estão integrados na plataforma da Autodesk Construction Cloud – Docs. Este, permite a visualização do modelo 3D/2D, conecta os metadados dos modelos BIM aos dados externos no Power BI. Este visualizador permite filtrar, definir visibilidade, habilitar extensões do Forge Viewer.

Com este visualizador, conseguiu-se ter os dados no Power BI sempre atualizados, sem a necessidade de exportar a informação gráfica, como acontecia no visualizador anterior.

Com este visualizador 3D, foi necessário carregar um conector para se conseguir especificar o projeto e a vista pretendida.

**Figura 6**  
Ligação ao conector Autodesk Platform Service (APS).



Cada vez que é efetuado um *publish* na plataforma da Autodesk Construction Cloud o modelo é publicado na nuvem da Autodesk, com uma nova versão, e os *dashboards* são atualizados no Power BI segundo a definição de atualizações diárias definidas.

Com este desafio solucionado conseguiu-se ter os modelos BIM de Arquitetura a serem carregados nos *dashboards* do Power BI, e publicados no site web para partilha com todos os intervenientes.

Para se associar os dados do conector aos dados que estão nos modelos, desenvolveram-se fórmulas no Power Query que permitissem essa associação automática.

O passo seguinte foi associar o Mapa de quantidades do cliente (MQT) ao modelo através do Power BI (4D), definindo regras no Power Query para apresentar as quantidades de acordo com o articulado. O Power BI analisa a qualidade do desenvolvimento das famílias do Revit para dar resposta ao definido no MQT. Por exemplo se no articulado as quantidades forem calculadas em metros quadrados, temos de ter alertas no Power BI, para que quando as famílias não estão preparadas para calcular os metros quadrados, o Power BI faça um relatório para filtrar essas famílias. Com esse relatório podemos ajustar os modelos às necessidades do MQT.

Sempre que a preparação ajusta o modelo para o envio para produção da obra (*publish*), o *dashboard* reage e mostra à direção da obra, em tempo real os resultados desses ajustes nas quantidades, para que se possam ser analisados os desvios e tomar decisões sobre a informação apresentada, que está centralizada, interligada e rigorosa.

Esses desvios são apresentados em diferença por quantidade e por percentagem.

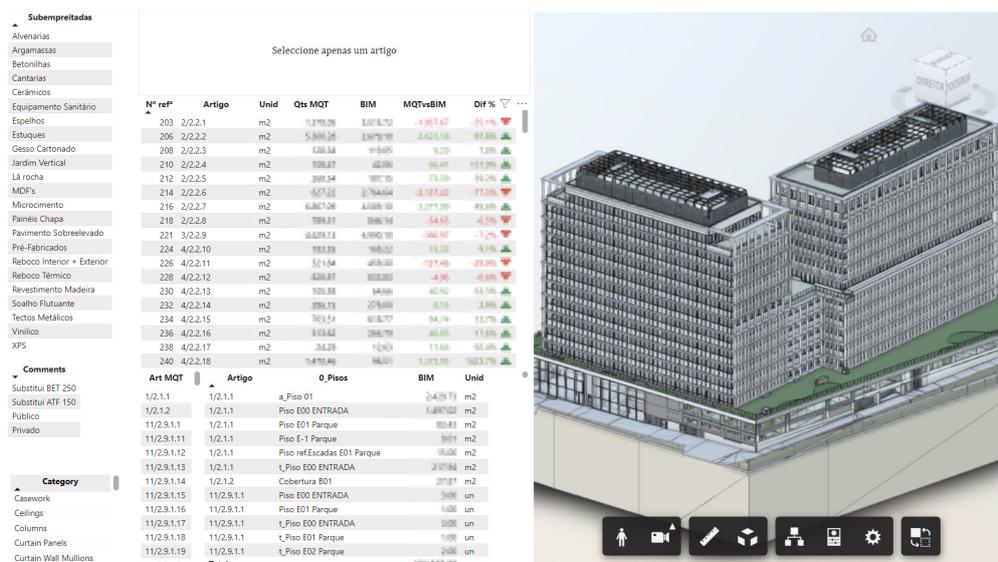


Figura 7 Dashboard BIM – Arquitetura com ligação ao Mapa Quantidades – 4D.

Com estes desenvolvimentos, introduziu-se também as atividades por subempreitadas associadas ao MQT e aos modelos BIM para visualizar os trabalhos por quantidades, por pisos e por artigos, ajustando o planeamento consoante a rentabilidade por piso e a distribuição de material em obra.

Com estes novos processos de análise de informação, a introdução do 5D (análise de custos) foi um passo natural para que o processo ganhasse um peso na gestão financeira da obra junto dos diretores de obra.

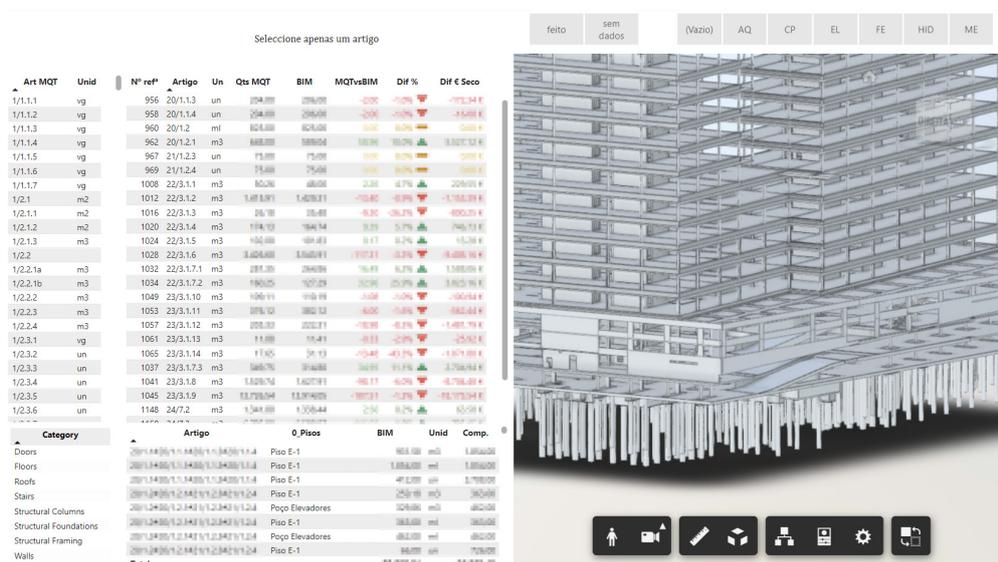


Figura 8 Dashboard BIM – Estrutura com ligação aos custos – 5D.

### 3. Conclusões

O presente artigo destaca a evolução do setor da construção, historicamente ancorado em métodos tradicionais, para a adoção inovadora da metodologia *Building Information Modeling* (BIM). A complexidade da gestão de informações fragmentadas e descentralizadas no método tradicional levou à busca por soluções mais eficientes, culminando na implementação “OpenBIM HCI” (abrir o BIM as pessoas não especialistas BIM) na HCI Construções, S.A.

A transição para o BIM permitiu uma abordagem mais integrada e colaborativa, enfrentando desafios como a associação de elementos desenhados à informação não geométrica, destacando a dificuldade anterior na metodologia tradicional. A introdução do Microsoft Power BI como ferramenta central de *Business Intelligence* (BI) foi crucial para tornar a informação dos modelos acessível a todos os intervenientes, desde diretores de obra até encarregados.

O processo de centralização de dados representa uma transformação significativa na gestão de informação no setor da construção, destacando-se pela centralização eficaz de diversas fontes de dados, incluindo modelos BIM, mapas de quantidades, listas de preço, mapas de adjudicações e planeamentos. Este processo proporciona uma base sólida para tomadas de decisões mais rápidas e informadas em todas as fases da obra.

A criação de *dashboards* específicos, contendo informação rigorosa e de qualidade, não só contribuiu para uma forte tração da implementação BIM, como também contribuiu para uma nova realidade de centralização de dados. Contribuiu diretamente para a disposição e colocação de material em obra pelos pisos corretos, além de oferecer apoio ao desenvolvimento do planeamento de forma mais integrada e eficaz.

A integração bem-sucedida do 4D e 5D amplia as capacidades do processo desenvolvido, permitindo uma análise abrangente dos custos e do estado de execução em relação ao planeamento definido.

Esta metodologia pode ser utilizada por pessoas sem treino específico em BIM, tornando-o acessível a todos os intervenientes.

Os *dashboards* desenvolvidos no Power BI não apenas levam o BIM a todo o grupo, mas redefine a gestão de informação na construção, promovendo eficiência, transparência e qualidade nas obras da HCI Construções, S.A.

Este artigo destaca o potencial do BIM em conjunto com ferramentas de *Business Intelligence*, impulsionando o setor para um novo patamar de excelência.

## Referências

- [1] ISO 19650-2:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information about buildings and civil building information modelling. Part 2: Delivery phase of the assets, 2018.
- [2] Autodesk. “Integrate the Autodesk Forge Data Visualization.” 2023. [https://aps.autodesk.com/en/docs/endymion/v1/developers\\_guide/overview/](https://aps.autodesk.com/en/docs/endymion/v1/developers_guide/overview/)
- [3] Kenny Geyskens. “Visualize your 3D Autodesk® Revit® model and data in Microsoft® Power BI®.” 2021. <https://kg-dev.be/project/3dbi-for-revit/>



# *Dashboards* para democratização dos dados dos Building Information Models

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.27>

José Mota<sup>1</sup>, Miguel Pires<sup>1</sup>, Pedro Carneiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TOPBIM, Braga, Portugal

## Resumo

Um desafio associado ao desenvolvimento de modelos de informação de projecto, aquando da implementação do BIM, é a criação de dados relevantes que acabam por não ser utilizados por terceiros. Isto sucede porque, generalizadamente, quem acede à informação dos modelos o faz exclusiva ou maioritariamente através da documentação de projecto exportada e, motivado pelas carências de software, conhecimento técnico ou posse dos modelos para acesso a informação adicional, à omissão de informação nas peças de projecto, corresponde o seu desconhecimento e consequente não utilização.

Uma das soluções encontradas pelo Grupo Casais foi a implementação de *dashboards* BIM, ou seja, painéis gráficos de consulta interativa das bases de dados dos modelos, organizadas por aplicação, ou seja, conforme o perfil de utilizador a que se destinam, através do *Microsoft PowerBI*. A sua intuitividade dispensa uma capacitação técnica profunda para consulta e interação com os dados. Desta forma, estabelece-se uma relação entre as bases de dados dos modelos e as equipas não projetistas, sem intermediário, para que a consulta possa ser totalmente *ad hoc*, filtrável, dinâmica e adaptável à solicitação do utilizador. O acesso via browser permite também a consulta em qualquer dispositivo, fixo ou móvel.

Neste artigo, é descrita em profundidade a investigação e o desenvolvimento destes *dashboards* através do piloto elaborado para o perfil de técnico orçamentista, incluindo as diferentes abordagens tentadas e dificuldades ultrapassadas até ao produto final. São também descritos os próximos passos, nomeadamente os perfis de utilizador a desenvolver com a mesma metodologia.

## 1. O problema – informação BIMplicita

Um problema recorrente que a TOPBIM tem encontrado na sua aplicação da metodologia BIM é o da transmissão de informação para terceiros, nomeadamente quando esses não se encontram no mesmo grau de maturidade BIM. O que sucede é que, apesar da profusa informação geométrica e não geométrica constante dos modelos de informação que são produzidos, se o seu recetor puder apenas aceder a essa informação por intermédio das peças de projecto tradicionais (PPT - peças desenhadas e escritas como texto, mapas, tabelas, etc), surge inadvertidamente uma barreira intransponível na consulta dessa informação: se não for explicitamente constante desses elementos, independentemente de existir ou não no modelo, é invisível e desconhecida pelo recetor. Um exemplo evidente é o caso de todos os elementos do modelo exportados em desenhos, nos quais só é explícita a informação descrita graficamente por identificadores (*tags*). A esta classe de informação existente no modelo, mas a que o recetor não consegue aceder, chamamos de informação “BIMplicita” (no BIM, de forma implícita), à semelhança de um *iceberg* de informação do modelo, em que apenas a parte superficial é visível; grande parte dos dados está oculta. Tentou-se resolver este desafio de como tornar, então, explícita e acessível essa informação a terceiros, independentemente do seu grau de maturidade BIM.

**Figura 1**  
Informação “BIMplicita”.



## 2. A solução – Dashboards BIM

Pretendeu-se criar um novo entregável, anexo às tradicionais peças de projecto, no qual o utilizador pudesse interagir diretamente com a informação dos modelos, para além do constante nas primeiras. Para este novo formato possibilitar um acesso mais democrático a essa informação, teria de possuir algumas características indispensáveis:

- não obrigar a formação BIM nem formação de um software específico para a sua utilização (para além de noções básicas para manuseio que se conseguissem transmitir rapidamente);
- entregar a informação de forma intuitiva e facilmente sincronizável com os desenvolvimentos do projecto;
- ser específica para cada perfil de recetor-utilizador dos dados.

O formato dos *dashboards* (ou painéis de bordo) BIM tem o potencial para satisfação destas premissas. Ao longo do artigo, serão explicados os passos dados, as dificuldades encontradas e ultrapassadas e as várias metodologias. Espera-se que este documento possa eventualmente também servir de referência a quem pretenda implementar uma solução análoga no seu portefólio de outputs BIM.

### 3. Microsoft Power BI e o caso de estudo

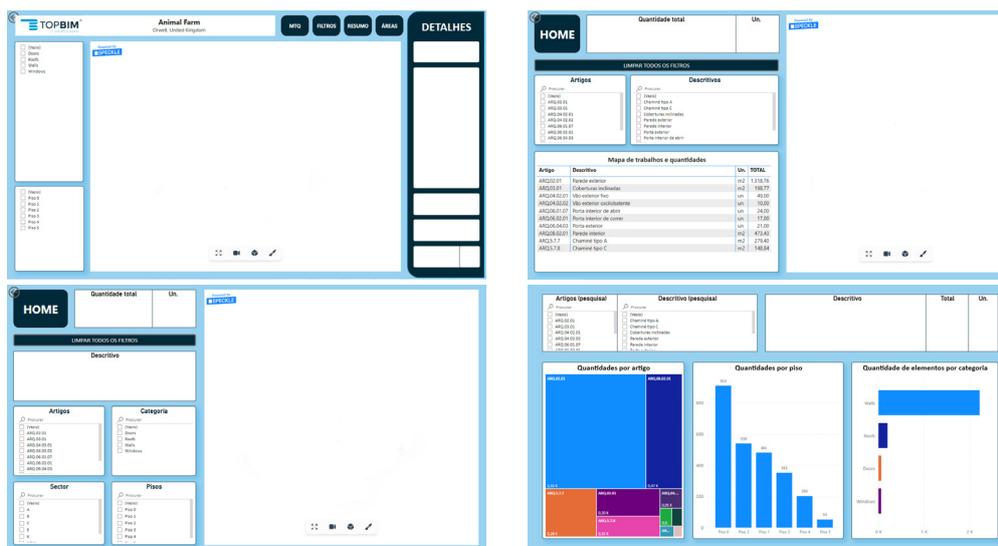
O programa Power BI é a opção da Microsoft para a criação de *dashboards* e, enquanto ferramenta consagrada e com extensa documentação e suporte online, emergiu como ideal para a implementação pretendida. Uma grande vantagem é que consegue obter dados a partir de uma enorme variedade de ficheiros, nomeadamente de texto (como *csv*), folhas de cálculo, bases de dados, etc., ou seja, ficheiros já habitualmente exportáveis a partir dos modelos de informação de projecto. Por outro lado, é de utilização intuitiva – componentes gráficos (ou *visuals*) de fácil apreensão – e dinâmica – permite filtração definida no momento pelo utilizador e consulta interativa na adaptação ativa dos *visuals* da mesma página (ex.: clicar numa barra de um gráfico de barras repercute-se automaticamente nos outros *visuals*, salientando nestes apenas a porção respetiva à seleção). Esta interatividade é fundamental para que o utilizador consiga alcançar exatamente a informação que pretende e não apenas a informação pré-determinada pelo emissor (como acontece com os outputs estáticos dos modelos como desenhos, tabelas, etc.). O facto de o programa permitir construir os *dashboards* de raiz, com *visuals* e hipótese de filtração específicos, dá-lhe a versatilidade pretendida para gerar *dashboards* adaptados a cada perfil de utilizador de destino, conforme desígnio inicial. Por fim, a funcionalidade prevista pelo *Power BI* de simplesmente alterar os ficheiros de origem de dados é possibilita à partida que sejam preparados os *dashboards* como templates de fácil atualização e adaptação a diferentes modelos de informação. Sem a possibilidade de *templatização*, a morosidade de preparação do *dashboard* poderia inviabilizar a abordagem.

Satisfeita a escolha pelo *Power BI* para elaboração dos *dashboards*, procedeu-se à seleção de um caso de estudo destinada a um técnico de orçamentação como o piloto a desenvolver.

Para tal, estudou-se várias hipóteses no sentido de auxiliar a tarefa de orçamentação através de um *dashboard* BIM em Power BI como um elemento extra das PPT, nomeadamente peças escritas, peças desenhadas e mapa de trabalhos e quantidades (MTQ), enquanto exportáveis da mesma base de projecto, ou seja, o modelo de informação.

#### 4. Abordagem 1: ficheiro base de dados + Power BI

O *dashboard* pretendido para este perfil de utilizador deveriam conter, no mínimo, uma página geral de receção (identificação do projecto, navegação entre páginas, modelo geral, poucos filtros, informação detalhada dos elementos apenas após seleção). Para além desta, pretendia-se uma página que enaltecesse a relação entre MTQ e modelo, com destaque para artigo/descriptivo dos elementos e uma quantidade sumária do artigo conforme os filtros aplicados. À semelhança da anterior, pretendia-se também uma página com mais tipos de filtros para além do próprio MTQ, para que o orçamentista pudesse aceder a informação específica de determinado artigo mediante a sua posição no que toca ao edifício: piso e sector. Por fim, considerou-se relevante apresentar uma página resumo, sem modelo 3D, apenas com os artigos com as quantidades mais representativas e respetiva distribuição por piso, sector, categoria de elemento *Revit*, etc., para uma visão mais geral. Inicialmente, foi ponderada a hipótese de elaboração do *dashboard* apenas com a informação não gráfica do modelo, ou seja, exportando diretamente a base de dados (ficheiro *.db*) a partir do *Autodesk Revit* e importando-a no *Power BI*. Contudo, apesar da abordagem poder fazer sentido em termos abstratos para aceder à informação de projecto, não é adequada à função pretendida. Senão, vejamos: num processo tradicional, em que as quantidades de um projecto sejam aferidas através de medição em *CAD* (*polylines*, *hatches*, etc), o que beneficia o técnico orçamentista na sua tarefa é a rastreabilidade visual dos artigos. Com as PPT, MTQ e ficheiro *CAD* das medições consegue identificar o local exato em que cada artigo foi considerado pelo medidor, podendo assim a) planear o seu custo em função do contexto no projecto e, com igual importância, b) compreender eventuais erros de medição. Ora, no caso de MTQ elaborados de forma automática a partir dos modelos de informação, não existe esse *CAD* de interface entre medidor e orçamentista. É por isso que é fundamental conferir-lhe ferramentas para executar essas tarefas a) e b) além das PPT e do MTQ de resumo de quantidades. Assim, um *dashboard* de apoio à orçamentação sem componente gráfica, i.e., sem acesso visual ao modelo tridimensional, não satisfaz o pretendido. Pode-se até dizer que pouco acrescenta às PPT. Com isto em mente, esta abordagem cai por terra e, à falta da capacidade nativa do *Power BI* de importação de modelos de informação, foram investigados softwares extra para possibilitar essa incorporação.



**Figura 2**  
Dashboard “Técnico orçamentista” (da esq. para a dir., de cima para baixo: página geral, página MTQ, página filtros avançados, página resumo. Tracejado: espaço para 3D).

## 5. Ferramentas de integração de modelos de informação em Power BI

Da investigação elaborada, surgiram algumas ferramentas que estabelecem a ponte entre informação de projecto (geometria 3D + base de dados) produzida em *Revit* e o *Power BI*. O primeiro passo foi aferir se as funcionalidades descritas pelos fabricantes seriam compatíveis com as pretendidas e quais as eventuais limitações. Segue-se o resumo desta análise.

Da análise exposta (não exaustiva de toda a pesquisa efetuada), foi identificado o *Tracer V3* (da *Proving Ground*) como o que potencialmente melhor responderia aos critérios pretendidos. A aferição das funcionalidades – e respetivos veredictos - passou por utilização das versões trial de cada programa. Foi, então, dada prossecução a essa implementação, conforme será descrito na próxima secção. Nota: à data da pesquisa, a opção *Speckle* passou despercebida. Só com o avançar do ano e em face da constante publicação em redes sociais sobre as mais valias da ferramenta (interoperabilidade entre softwares 3D), se materializou a sua exploração.

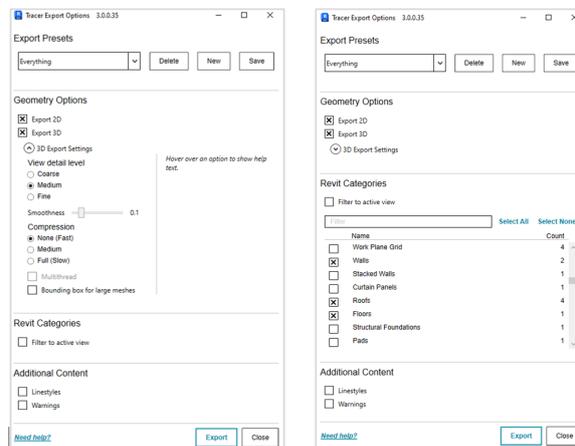
Tabela 1: Análise de softwares para elaboração de *dashboards* BIM

Software	Características	Licença	Veredicto
VCAD (VDT)	Vocacionado para <i>Health Check</i> dos modelos. Só para modelos em cloud (ex.: ACC).	Pago	Não testar
Power BIM	Apenas para modelos em <i>cloud</i> . Sem interação com modelo, apenas exposição.	Pago	Não testar
3DBI	Não permite <i>templatação</i> . Cada atualização do modelo exige recriação do <i>dashboard</i> .	Pago	Não testar
Tracer V3	Cumprir os pré-requisitos.	Pago	Testar
Speckle	Cumprir os pré-requisitos.	Open source	Testar (posterior)

## 6. Abordagem 2: Tracer + Power BI

O *Tracer* é um *plug-in* do *Autodesk Revit* que permite extrair a informação dos modelos de informação através de uma interface própria e que compila geometria e dados num ficheiro de base de dados (.db). Ao importar esse ficheiro no *Power BI* como ODBC *database*, cada elemento exportado contém toda a informação paramétrica e uma geometria (*mesh*) que o *Power BI* consegue processar e expor. O facto de se conseguir simplesmente alterar a origem de dados alterando o caminho para o ficheiro base ODBC – mantendo a configuração dos *dashboards* - e a geometria do modelo ser importável para um *visual* anexo ao programa, satisfaz os pré-requisitos. O *workflow* começa no *Autodesk Revit*, no qual surge na *taskbar* um menu *Proving Grounds*, com o *plug-in Tracer*. Surge então uma interface na qual existem várias opções de exportação, como o nível de detalhe (*coarse, medium, fine*) ou ainda o refinamento da geometria a exportar (de ressaltar a hipótese de exportar geometria demasiado complexas como *bounding boxes*, particularmente útil para otimizar tempo de exportação). Podem ser também selecionadas quais as categorias de elementos a exportar. No final, é possível gravar a configuração destas opções como um *preset* para facilitar futuras exportações. À cabeça, é identificável um potencial problema: apesar de as categorias poderem ser pré-selecionadas no *preset* ou “filtradas conforme a vista atual do modelo”, não existe a opção de exportar apenas os elementos visíveis em determinada vista. Ou seja, a filtração dos elementos para determinada categoria a exportar é binária, ou seja, ou nenhum ou todos os elementos que existam no modelo, independentemente da vista. Este fator não favorece uma seleção mais criteriosa dos elementos e podem inclusivamente vir a constar do modelo geométrico importado para o *Power BI* artefactos geométricos difíceis de rastrear no modelo *Revit*.

O ficheiro exportado é um ficheiro *database* (db) que agrega toda a informação geométrica e não geométrica, que depois é simplesmente importado para o *Power BI* escolhendo como fonte de dados um ficheiro tipo ODBC, com a particularidade de ter de se escolher quais das tabelas de elementos se pretende importar. Para além desta segregação se ter revelado problemática, da abordagem com o *Tracer* emergiram outras dificuldades, algumas efetivamente incontornáveis e que levaram ao abandono da solução. Segue-se a descrição desses temas.



**Figura 3**  
*Tracer V3*, opções de exportação a partir do *Autodesk Revit*.

## 6.1. Problema 1: exportação/importação segregada dos elementos

As tabelas são segregadas por categoria de elementos *Revit*, com a exceção de algumas gerais (não é claro o critério efetivo). Nas tabelas gerais, estão as geometrias e alguns parâmetros. Nas tabelas de cada categoria estão todos os parâmetros, incluindo os pretendidos do MTQ (artigo, descritivo, unidades, quantidades), o piso e o sector em que está o elemento, todos estes previamente inseridos no *Revit*. Assim, para podermos relacionar a tabela da geometria com as dos parâmetros, para que um parâmetro de uma afete a outra, é necessário fazer uma terceira, nova, de compilação de todas as categorias importadas e suprimir os parâmetros irrelevantes (através do *Power Query* - programa agregador das consultas externas que corre dentro do *Power BI* e permite algum tratamento dos dados). Os parâmetros desta tabela serão, então, os que se podem usar para filtrar os *visuals* (artigo, piso, sector, etc.). Ora, apesar de esta abordagem funcionar, é incompatível com a *templatização* do *dashboard* porque, na ausência de qualquer uma dessas tabelas de categorias no ficheiro de base de dados (se não existirem essas categorias nos modelos originais), o *Power Query* não processa as tabelas vazias, emitindo um erro na obtenção de dados. Teria de ser revisto a cada importação que elementos existem ou não no modelo e importadas ou não essas tabelas e recriada a tabela de compilação. Isto está longe de ser ideal. Como foi contornado: após muitos testes na tentativa da flexibilização da compilação dos dados através de *Power Query* independentemente das tabelas existentes na origem (base de dados), só se conseguiu resolver a possibilidade de *templatização*, ou seja, utilização do mesmo *dashboard* independentemente das variações dos ficheiros da origem de dados, através de uma fonte de dados extra produzida em *Revit*. Optou-se por elaborar um ficheiro *csv* com toda a informação que se tentara, sem sucesso, compilar diretamente no *Power BI*, nomeadamente com ID dos elementos, parâmetros de MTQ, de piso e de sector. Esse ficheiro seria então também importado para o *Power BI* e estabelecida a relação entre uma única tabela da base de dados *Tracer* que contivesse a *mesh* (geometria) e o ID dos elementos. Desta forma ficava fechada a relação geometria (*Tracer*) ↔ ID ↔ informação MTQ, Piso, Setor (*csv*). O problema original é que essa tabela do *Tracer* não continha os parâmetros pretendidos para todos os elementos. Por exemplo, para todos os parâmetros de uma parede, teria de ser consultada a tabela *Walls* e daí a necessidade original de compilação de todas as tabelas com informação parcial para criar uma única cujo parâmetro “Artigo” do MTQ se pudesse utilizar para filtrar os *visuals* independentemente da categoria de elemento.

## 6.2. Problema 2: várias designações *Revit* para “Piso”

Dependendo da categoria de *Revit*, cada elemento pode ter uma designação diferente para identificar o piso. Nas *Walls*, chama-se “*Base Constraint*”, num *Floor* é “*Level*”, num *Structural Column* é “*Base Level*”. Ora, para usar o mesmo parâmetro “Piso” para filtrar o modelo, é necessária uma forma única de designação do piso, independentemente da categoria.

Como foi contornado: inicialmente, optou-se por acrescentar todas as colunas das várias categorias à tabela centralizadora referida no problema anterior, pela criação de uma nova coluna com o nome “Piso” e pela programação de uma fórmula que fosse, para cada elemento buscar o valor (ID do piso) a qualquer dessas várias colunas (*Base Constraint*, *Level*, etc.) que tivesse valor. Assim, se automatizou a atribuição de um parâmetro centralizador para o piso dos elementos, para utilizar nos filtros. Contudo, após a introdução do novo ficheiro de *Dynamo* (ver problema 1), optou-se por incluir já nesse esta informação, resolvendo o tema a montante.

**Figura 4**

Coluna “Piso” para resumo das várias designações conforme a categoria *Revit*.

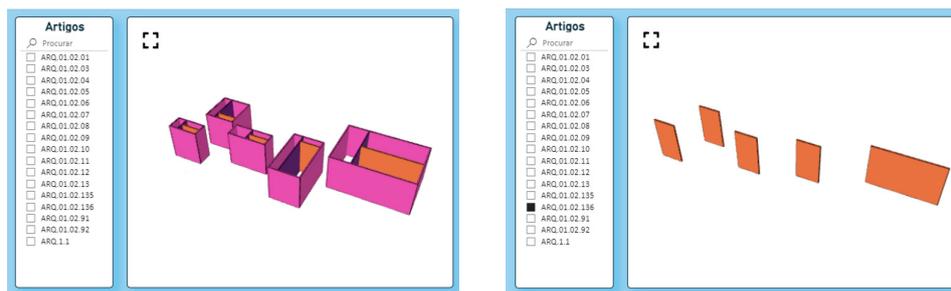
1.2 Base Constraint	1.2 Base Level	1.2 Level	1.2 Reference Level	1.2 Piso
355	0	0	0	355
0	0	2607	0	2607
0	0	355	0	355
0	0	0	355	355

### 6.3. Problema 3: impossibilidade de exportação de modelos com links

O *Tracer* exporta apenas o modelo atual de *Revit*, isto é, não são exportados os modelos vinculados ou em *link*, a não ser como instâncias de uma tabela de ficheiros em *link* (*link 1*, *link 2*, etc.) que apenas identificam o nome do mesmo e pouco mais. No piloto testado, tratando-se de uma residência universitária com inúmeros quartos idênticos, optou-se pela modelação de cada tipologia como um *link*. Ou seja, a base de dados do modelo de arquitetura dependia obrigatoriamente da inclusão destes *links*, algo que não é possível com o *Tracer* atual. Como foi contornado: não é possível contornar este problema na atual versão do *Tracer*. No exemplo supra, implicou fazer *bind* aos modelos em *link* antes de exportar. Este passo é muito demorado e sujeito a erros e como tal impede a agilidade de atualização em função de alterações ao modelo (1 dia para fazer *bind*). Ainda assim, considerou-se que, apesar de não ser ótimo, este problema poderia não inviabilizar a metodologia através do *Tracer*, visto ter sido contornado.

### 6.4. Problema 4: ausência de contexto no modelo 3D filtrado

Aquando da aplicação de filtros ao modelo, p.ex., para só ver elementos com determinado valor de “Artigo”, apesar da agradável experiência de aproximação automática a esses elementos, é subtraído o contexto. Este comportamento não é possível contornar, é característico do visual do *Tracer*. Se para os anteriores problemas foram encontradas soluções, este fator foi crítico para o abandono da solução. A inteligibilidade do local de aplicação foi a premissa base para a criação dos *dashboards* de apoio à orçamentação. Sem este, o *dashboard* não faria sentido.



**Figura 5**  
Modelo completo (esq.) / filtrado (dir.); ausência de contexto do visual do Tracer.

## 7. Abordagem 3: Speckle + Power BI

A utilização do *Speckle* permitiu finalizar uma primeira solução viável para implementação da metodologia. O *Speckle* atua como um conversor de toda a informação dos modelos de vários softwares (geométrica e não geométrica) para um modelo na linguagem *Speckle*, alojado no seu servidor. Pode-se, então, referenciar esse modelo como *links*, em páginas web ou, neste caso, via *Power BI*. Uma vez que a importação é simplesmente feita através da substituição do URL, pode-se substituir a origem de dados para utilizar num *template* previamente configurado.



**Figura 6**  
Determinação da origem de dados *Speckle* no *Power Query*.

Em relação à abordagem 2 com o *Tracer*, o *Speckle* apresenta algumas diferenças que resolvem muitos dos problemas do primeiro:

- É *open source* e tem, também por isso, uma ampla gama de utilizadores, casos de estudo, documentação, vídeo-tutoriais e uma comunidade de apoio notável;
- Possui diferentes opções de exportação em relação ao *Tracer*, podendo-se exportar, p. ex., só determinada(s) vista(s) ou categoria(s). Assim, é possível um controlo muito superior de que elementos se pretende exatamente exportar. Porém, não é possível, como no *Tracer*, controlar o nível geométrico da exportação para além do “*coarse/medium/fine*”, algo que poderia melhorar a performance na receção dos modelos *Speckle* ou o tempo de exportação;
- Se a vista a exportar contiver *links*, é possível ativar a sua inclusão na emissão para o servidor, ou seja, não é necessário fazer *bind* (por oposição ao ponto 6.3);
- Após filtração dos elementos, o visual do *Speckle* navega e aproxima-se do que se pretende realçar, preservando, contudo, o contexto geral do modelo. Conforme referido no ponto 6.4, isto é fundamental para uma experiência de utilização que vai de encontro ao pretendido.

**Figura 7**  
Modelo completo (esq.) / filtrado com contexto do *visual* do *Speckle* (dir.).



Apesar das melhorias apresentadas, surgiram ainda dois desafios que vale a pena mencionar.

7.1. Problema 1: acesso a parâmetros específicos dos elementos

A conversão dos parâmetros *Revit* na linguagem *Speckle*, cria uma hierarquia de parâmetros complexa, na qual consta toda a informação, mas que é de difícil acesso no *Power BI*. Apenas uma tabela é criada na consulta ao modelo, que contém todos os parâmetros. Alguns no primeiro nível (A) de "record" (ID, categoria, etc.) mas a maioria como *nested* "records" (B):

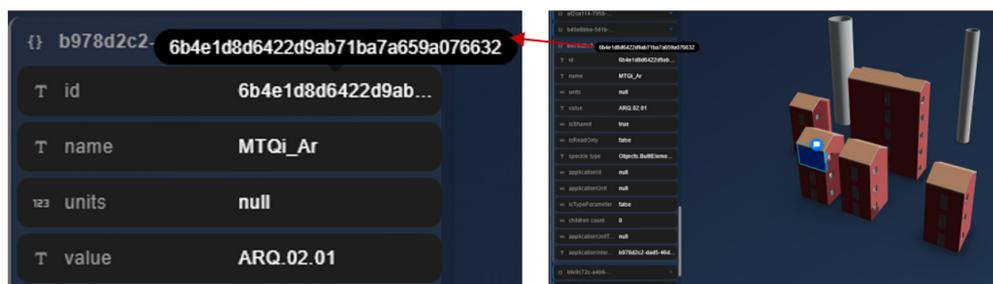
**Figura 8**  
Consulta do *Speckle* no *Power BI*. Todos os dados são "Records" na coluna "data".

Stream URL	URL Type	Commit Object ID	Object ID	speckle_type	data
https://speckle.xyz/streams/...	Branch	d7c8a1a99ff8af168d8d6d71b...	004739f9f7137c402e68c838f...	Objects.Geometry.Mesh	Record
https://speckle.xyz/streams/...	Branch	d7c8a1a99ff8af168d8d6d71b...	0062db7d9e9eb822db4c48c9...	Objects.Geometry.Mesh	Record
https://speckle.xyz/streams/...	Branch	d7c8a1a99ff8af168d8d6d71b...	010d62f74226284b7bf3f18c6...	Objects.Other.Revit.RevitInsta...	Record
https://speckle.xyz/streams/...	Branch	d7c8a1a99ff8af168d8d6d71b...	02cd7aec75bea8d217ee85c...	Speckle.Core.Models.Collection	Record
https://speckle.xyz/streams/...	Branch	d7c8a1a99ff8af168d8d6d71b...	032ae890813f6dc92e7e22ee...	Objects.Other.Revit.RevitInsta...	Record
https://speckle.xyz/streams/...	Branch	d7c8a1a99ff8af168d8d6d71b...	03430536b19affdd73f5cea99...	Objects.Geometry.Mesh	Record
https://speckle.xyz/streams/...	Branch	d7c8a1a99ff8af168d8d6d71b...	0380070670465a04601a45b...	Objects.BuiltElement.DanfO...	Record

level	Record
units	m
category	Windows
elementid	7025274
transform	Record
worksetid	0
definition	Record
parameters	Record

Como foi contornado: para alcançar os parâmetros de MTQ e Sector, foi necessário "explodir" os *records* da *data* até alcançar a informação relevante. Os nomes dos parâmetros são consultáveis no visualizador online do *Speckle*, uma vez que há lugar a uma codificação na qual não mantêm o nome original. Ainda assim, um fator crítico para não invalidar a *templatização*, é que aparentemente o mesmo nome de parâmetro em vários modelos diferentes, é convertido para o mesmo código de parâmetro *Speckle*, o que possibilita que se mantenham os passos do *Power Query* e não seja necessário reconfigurar todas as primeiras importações para *Power BI*.



**Figura 9**  
Parâmetros *Revit* vs. parâmetros *Speckle* (ex.: parâmetro “MTQi\_Ar” = “Artigo”).

Assim, acrescentando no *Power Query* a fórmula de expansão dos *records* para os parâmetros que se sabe corresponderem aos pretendidos (MTQ), expandimos essa consulta num só passo (Figura 10). A partir deste momento, podemos utilizar os parâmetros expandidos para aplicar como filtros ao visual da geometria importada, como os de MTQ, sector e piso:

```
= Table.ExpandRecordColumn("#Colunas Removidas1", "parameters", {"b978d2c2-dad5-46d3-936b-a0c1cb925ab4", "bfe9c72c-a4b6-426f-be73-68ae52750cca", "a097e0dd-9c07-4440-bcfd-6f4d1855488b", "b45e8bba-5d1b-41f1-8dfd-6b3de76d2035", "90740b12-7c88-4c08-b57f-3ab32ca029ae", "4df53ed0-7548-463e-a7cf-645e6357fb6f"}, {"b978d2c2-dad5-46d3-936b-a0c1cb925ab4", "bfe9c72c-a4b6-426f-be73-68ae52750cca", "a097e0dd-9c07-4440-bcfd-6f4d1855488b", "b45e8bba-5d1b-41f1-8dfd-6b3de76d2035", "90740b12-7c88-4c08-b57f-3ab32ca029ae", "4df53ed0-7548-463e-a7cf-645e6357fb6f"}))
```

**Figura 10**  
Fórmula de expansão dos *records* dos parâmetros.

## 7.2. Problema 2: performance

Por fim, após a implementação bem-sucedida, resta mencionar um problema para já incontornável: performance do *visual* do modelo 3D. Se, para modelos pequenos, não é assinalável o tempo que demora a carregar o modelo dentro do *Power BI* a cada operação, para modelos grandes, é significativo. Para o modelo com cerca de 12000 elementos testado, o *visual* do modelo precisa de cerca de 1 minuto para o carregamento inicial e 2 minutos para aplicação de um filtro. Não retira a funcionalidade, mas é um inconveniente para a experiência de utilização. Este fator era idêntico (ou pior) na abordagem com o *Tracer V3*.

## 8. Outros processos resolvidos para o sucesso dos *dashboards*

De seguida, são descritas algumas dicas implementadas independentemente da abordagem que contribuirá para a otimização dos *dashboards* em *Power BI*.

- Não mostrar quantidades no *visual* de quantidades até haver algum filtro selecionado: criou-se uma *measure* associada à filtração ou não de determinados parâmetros. Depois alterou-se a cor do texto do cartão de resumo das quantidades para se o valor dessa *measure* fosse “1” (filtro ativo) ser preto; se fosse “0” (não haver filtros ativos) ser da cor do fundo (branco). Desta forma, se não houver nenhum filtro, o cartão de quantidades parece vazio.
- Inconformidades sistemáticas da origem: imaginando uma situação em que para um mesmo “Piso 1”, haja elementos que o identifiquem como “Piso 1”,

“piso 1” ou “PISO 1”. Não havendo tempo para solicitar revisão ao modelo, podemos automaticamente procurar e substituir valores via *Power Query*, neste caso passando todos para “Piso 1”, a constar dos filtros dos pisos, para não confundir o utilizador no momento da consulta.

## 9. Conclusão e futuros desenvolvimentos da solução encontrada

Conforme descrito, o piloto foi bem-sucedido para o perfil do *dashboard* de técnico de orçamentação, com exceção dos problemas de performance. Essa poderá eventualmente ser resolvida pela subdivisão dos modelos a constarem individualmente nos *dashboards* (4 páginas com 3000 elementos em vez de 1 com 12000). O *dashboard* é então partilhado com terceiros que possuam licença de *Power BI Pro* para seu usufruto em *browser*, quer via *smartphone*, *tablet* e/ou computador. Agora que está materializada a prova de conceito e o *workflow*, serão explorados outros *dashboards* para diferentes perfis de utilização, como:

- **Promotor imobiliário:** a partir de modelos com baixo nível de detalhe, apenas com *Rooms* classificados quanto ao programa funcional, colocar na mão do promotor um *dashboard* que apresente os *Rooms* em 3D com os KPI relevantes calculados automaticamente (total de cada tipologia funcional – quarto, sala, circulação, etc -, rácio áreas privadas vs. comuns, área de fachada, área de construção, etc.). Em complemento, poder colocar uns *sliders* à sua disposição para atribuir um preço/m<sup>2</sup> a cada tipologia e estimar um valor global para a obra;
- **BIM manager/coordenador:** *dashboards* de *Model Health*, para aferição do grau de “saúde” dos modelos de informação, com indicadores do verde ao vermelho, nomeadamente no que toca a parâmetros como número de avisos, contagem de famílias purgáveis ou *in-place*, vistas que não constem de folhas, etc. Ou ainda para verificação da qualidade da informação do modelo vs. *BIM Execution Plan*, ou seja, p.ex., análise das nomenclaturas dos ficheiros, desenhos, famílias, materiais, etc. Desta forma, poderiam ser mais facilmente auditados os modelos, simplesmente exportando periodicamente o ficheiro “.db”;
- **Direção de obra:** semelhante ao orçamentista, mas mais orientados para consulta do modelo em tablet, encomenda de materiais por piso/sector, apoio aos autos, etc.

São estes os primeiros e os próximos passos da TOPBIM neste tópico com tanto potencial, sempre no sentido da democratização do BIM e da diminuição da informação BIMplícita.

# Integração de dados na construção: Desafios e soluções

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.28>

**Tiago Costa<sup>1</sup>, Pedro Ferreirinha<sup>2</sup>,  
Ricardo Resende<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Zumer Construction Platform, Portugal, 0000-0002-7345-4906

<sup>2</sup> HCI Construções, S.A., Lisboa

<sup>3</sup> Iscte – Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, e Zumer Construction Platform, Portugal, 0000-0002-2155-5625

## Resumo

As empresas do sector AECO nunca investiram tanto em tecnologias de informação, tanto em termos absolutos como em percentagem da faturação. Os softwares e plataformas podem gerar dados em grande quantidade, mas aproveitar o valor deste investimento e assegurar que estes dados têm retorno para a empresa exige uma forma diferente de olhar para os processos e a tecnologia e também *skills* diferenciados.

Os software de modelação BIM e as plataformas de gestão da construção, locais ou na *cloud*, deixam a desejar quanto às capacidades de gestão e acessibilidade dos dados, as licenças são dispendiosas e o seu funcionamento é rígido, ou seja, obrigam a empresa a adaptar o seu funcionamento à solução informática, levando a uma perda de identidade e de fatores competitivos.

Propomos uma solução desenvolvida pela Zumer para a HCI, que usa o modelo BIM como espinha dorsal de um ambiente de gestão e visualização de informação, integra os dados dos modelos com a informação da empresa, é acessível na *web*, adapta-se aos fluxos de trabalho existentes e pode se usada por trabalhadores sem competências de programação nem de modelação BIM. A solução permite a edição e verificação de informação online, sincronizada com o modelo e outras fontes. Esta abordagem leva o BIM a todos os utilizadores de forma económica e simples, integrando aplicações como o Revit, ACC, PowerBI ou Sharepoint e permite uma implementação que se ajusta à maturidade dos trabalhadores e que evolui com as necessidades da empresa.

Apresentamos um estudo de um caso em que foi feita a adaptação à forma de gestão e controle em obra na HCI Construções, S.A., com ganhos de eficiência e levando a introdução de dados de construção nos modelos, na frente de obra.

## 1. Introdução

### 1.1. Enquadramento tecnológico

A construção – por muito considerada como uma indústria pouco sofisticada – é uma das mais atividades produtivas mais complexas. Em cada projeto, que é irrepitível, temos um ambiente físico, económico e legal diferente, mercados imobiliários, financeiros e laborais voláteis, uma quantidade de stakeholders diretos e indiretos, cadeias de abastecimento longas, especialidades que se conjugam no projeto e na obra sujeitas a exigências regulatórias crescentes, e finalmente o ambiente imprevisível das obras. Se por um lado a construção beneficia cada vez mais com a digitalização que atravessa toda a sociedade, é compreensível que os software disponíveis poucas vezes satisfaçam os responsáveis das empresas, e os que estão no terreno.

Há cada vez mais usos para a tecnologia na construção [4] e são produzidos cada vez mais dados: a marcação do ponto pelo encarregado, ao controle de equipamento e material em estaleiro, o sofisticado modelo BIM, o pedido de assistência pós-venda, a chegada de material à obra e o seu consumo e faturação. A informação ganha valor quando leva a melhores decisões [1], e para isso tem de ser relacionada entre si, interpretada e depois acionada, mas esses fluxos não acontecem. Parte desta informação não é simplesmente guardada ou fica perdida em dossiers, digitalizações, folhas Excel, software de faturação ou recursos humanos, ou no repositório de modelos. Para além da perda de valor imediata, quando se tentam aplicar técnicas de Inteligência Artificial, não existe informação de qualidade que os algoritmos possam usar.

Muitas tarefas e ordens acontecem no email, smartphone ou computador, mas o processo subjacente é o mesmo de há décadas, pois as plataformas não interagem entre si e a informação não flui. Muito do valor investido em tecnologia é perdido: os funcionários continuam a gastar horas em tarefas mundanas, não se ganha rapidez e qualidade na operação, e há cada vez mais pessoas envolvidas, muitas vezes a transferir informação: um planeamento em Project é impresso para ser discutido junto com os desenhos, uma ordem de compra que chega por email é inserida no ERP, uma folha de ponto em papel é carregada no software de RH manualmente. Finalmente, como os dados não existem ou estão indisponíveis, a promessa da Inteligência Artificial, que se baseia em dados em qualidade e quantidade, é atrasada.

As tentativas da maioria das empresas de construção em melhorar os seus processos de informação são dificultadas por vários fatores. Em primeiro lugar é difícil mapear os processos e requisitos reais, pois frequentemente atravessam vários departamentos e funções da empresa. Por outro lado, os Engenheiros Cívicos e Arquitetos, pela sua formação têm uma visão sistémica e integradora dos processos e dominam a lógica do negócio, mas não têm conhecimentos profundos de IT. É interessante verificar que os Engenheiros de qualquer especialidade são extremamente valorizados na Gestão, mas sentem dificuldades em modernizar o seu próprio setor. Quando se trata do desenvolvimento informático, verifica-se grande escassez de profissionais de IT, ainda mais quando se pede que conheçam, ou pelo menos compreendam, a

Construção. Isto leva a que boa parte das soluções desenvolvidas para a indústria não tenham em conta as tarefas reais, o contexto em que são feitas, a formação dos trabalhadores. Isto não é exclusivo à construção, mas torna-se ainda mais relevante num negócio de grande exigência e risco, que luta contra o escassez, envelhecimento e rotatividade da mão-de-obra.

A atividade da Zumer tem-nos mostrado que empresas grandes ou pequenas podem desenvolver estratégias de real digitalização do negócio. Acreditamos que isso deve ser feito em pequenas partes da operação que tragam elevado retorno financeiro, envolvendo as pessoas desde o início, e tendo sempre em vista a integração de iniciativas futuras, em especial na gestão de informação.

## 1.2. A perspectiva da HCI

Com o avançar da digitalização nas empresas tem surgido naturalmente uma nova variável: a capacidade de analisar, gerir e interpretar informações de forma eficaz, correta e sem falhas. É assim que, para as construtoras e em paralelo com os desenvolvimentos do BIM, a HCI tem aproveitado a oportunidade de rever processos tradicionais sob a lente destas novas metodologias.

A realidade de uma obra é complexa e exige constante articulação entre equipas. A título de exemplo, durante a execução são gerados numerosos documentos: tabela de vãos, pedidos de aprovação de material, registos de guias e receção de material, autos ao subempreiteiro e autos ao cliente, relatórios de obra, entre outros. Mesmo com as melhores equipas, numa metodologia tradicional há risco de duplicação de informação ou falhas de comunicação – riscos que podem passar a ter impacto financeiro em caso de imprevistos ou falhas nos processos.

Esta transição tem, contudo, de ser gradual. A diversidade das equipas é um desafio nas construtoras. A HCI colabora com profissionais dos mais variados setores e formações académicas, que trazem experiência de áreas distintas. Nem todos têm apetência ou hábito em lidar com tecnologias em constante desenvolvimento; no entanto, cada pessoa contribui ativa e diariamente no conjunto da obra.

Há fluxos BIM com muito interesse para substituir a metodologia tradicional. Bons exemplos são a preparação, a análise de adjudicações, controlo de receção em obra, análise de custos e o controlo de instalação em obra. Com estes fluxos otimizados em BIM, as obras podem usufruir de maior controle em todas as etapas, otimizando assim os resultados das empresas.

## 2. Estado da Arte

### 2.1. Digitalização da HCI Construções

A HCI Construções, S.A., tem vindo a implementar e desenvolver o processo de transformação digital para garantir que todos os dados sejam acessíveis pelos vários

intervenientes através da nuvem da Microsoft. Evita-se a utilização de ficheiros nos computadores individuais, permitindo que os documentos sejam editados por múltiplos intervenientes simultaneamente, centralizando assim a informação para maior acessibilidade.

O processo construtivo, desde a fase comercial até à entrega das telas finais/"As Built", envolve diversas etapas com fluxos de criação de informação: planejar, preparar, quantificar, comparar, adjudicar, instalar e compilar. Estas etapas abrangem várias etapas, desde a transição do mapa de quantidade de trabalhos para a produção até a compilação técnica da obra e telas finais, gerando dados desenvolvidos por diferentes profissionais, desde o diretor de obra até aos encarregados.

Com o avanço da digitalização, o BIM desempenha um papel crucial na gestão da informação das etapas mencionadas. Na perspetiva da HCI, os usos mais relevantes do BIM incluem a modelação 3D, a compatibilização de especialidades, a quantificação (4D) e os custos (5D). A modelação não apenas gera documentação para produção (peças desenhadas), mas também facilita a quantificação, mesmo que não esteja diretamente associada ao articulado.

Idealmente, os modelos BIM chegariam dos projetistas com uma maturidade bastante evoluída, incluindo informação por articulado, o que permitiria alcançar o 4D e 5D de forma mais rigorosa e transparente. Padrões obrigatórios para a classificação de objetos e critérios rigorosos de modelação são essenciais para garantir que todos os intervenientes, desde o projeto até à manutenção, tenham elementos bem definidos e parâmetros preenchidos em cada estágio do empreendimento. Isso incluiria estruturas únicas de articulado, resolvendo problemas como artigos repetidos no mesmo articulado e elementos modelados separadamente por tipologia do mapa de quantidades.

Evitar alterações sucessivas por parte dos projetistas durante a fase de obra é crucial para preservar a estratégia de criação de informação nos modelos existentes e garantir a eficácia do processo BIM.

Muitos dos softwares existentes no mercado para gestão de obra, além de serem complexos, dificultam a gestão direta por parte dos diretores de obra e acabam por alterar o *modus operandi* das empresas. A forma de trabalhar da HCI é parte importante da sua identidade, que não pode ser comprometida para usar esses programas.

## 2.2. Gestão de informação na construção

É reconhecida a capacidade dos modelos BIM em armazenar informação alfanumérica, através dos parâmetros/propriedades agregados aos objetos. Essas propriedades, chamadas parâmetros no Revit, podem conter informação sobre o próprio objeto, como o material, o fabricante, propriedades físicas e ambientais, mas também propriedades relacionadas com os processos a que o objeto vai ser sujeito: a compra, transporte, aplicação, montagem ou fabricação em obra. Apenas se torna mais difícil

armazenar imagens, pdfs ou outros tipos de ficheiros nos modelos, mas pode-se inserir a ligação para repositórios de ficheiros.

Apesar desta capacidade de armazenagem, não é conveniente inserir toda a informação nos modelos, por três razões principais.

Em primeiro lugar, não é fácil editar ou consultar os modelos. É necessário um software de edição como o Revit e Archicad, que são dispendiosos, requerem formação avançada e não são otimizados para a manipulação de informação não-geométrica (na verdade é possível editar os parâmetros de modelos IFC em editores gratuitos, ou otimizar a manipulação de propriedades através de Addons aos software como o DiRoots Sheetlink [3] ou o Anker [1], mas a dificuldade continua a ser alta). Em segundo lugar, os modelos ficam excessivamente grandes, exigindo computadores mais potentes e dispendiosos. Em terceiro lugar, as empresas já têm formas de trabalhar que não querem alterar desnecessariamente. O resultado é que os modelos BIM, que poderiam ser o eixo do planeamento e execução da construção, são usados para produzir desenhos, para alguma visualização 3D, eventualmente alguma extração de quantidades e outros pequenos papéis.

As plataformas baseadas na cloud, como o Procore, Bixel ou na suite Autodesk Construction Cloud têm capacidades muito avançadas para todo o processo de construção e integram de forma nativa os modelos BIM. Mas estas soluções “all-in-one” não são adequadas para todas as empresas. O custo das licenças é muito elevado; têm um efeito de “lock-in” pois os dados ficam guardados em formatos proprietários, e mesmo que seja possível a descarga, será difícil exportá-los para outras aplicações; implicam formação dos funcionários e grandes mudanças na forma de trabalhar em operações críticas pois funcionam com receitas pré-estabelecidas que nem sempre se adaptam à cultura e forma de trabalhar. Finalmente, para serem potenciadas têm de ser integradas com os sistemas existentes, o que acarreta custos adicionais de desenvolvimento e manutenção.

Na filosofia da ZUMER o poder de decisão e controlo dos dados pertence às organizações, integrando as ferramentas e metodologias já em uso na empresa com a tecnologia BIM. Desta forma a solução cresce gradualmente sem acréscimo de custos, integra com as plataformas onde a empresa já tem os seus dados e é adaptada ao longo do processo de desenvolvimento. Na secção seguinte apresenta-se o trabalho feito com a HCI Construções no desenvolvimento de uma ferramenta de gestão de informação em obra desenvolvida em 2023 e 2024.

### 3. A metodologia desenvolvida

Os processos das construtoras, da receção do pedido de proposta ou concurso até à entrega da obra são muito elaborados e complexos. Embora os passos gerais sejam os mesmos, a execução é muito distinta entre as empresas. Com a digitalização e envolvimento dos modelos BIM, as diferenças tornam-se ainda maiores.

Esta característica tem duas implicações (entre outras) que realçamos no desenvolvimento de software para a indústria. Primeiro, torna-se particularmente difícil desenvolver produtos digitais escaláveis. No desenvolvimento de produto digital isto representa um desafio porque obriga o software a ser muito flexível e customizável, tornando-o mais complexo. Em segundo lugar, o esforço de análise de processos e requisitos é também maior, especialmente pela escassez de *developers* que conheçam, ou pelo menos compreendam a indústria. Estes são dois dos fatores que levam muitas empresas a contratar serviços de desenvolvimento à medida que, além de caros, não são escaláveis.

Os volumes de faturação altos, as margens na construção genericamente baixas tornam imperativo minimizar o risco de erro e atraso, sendo por isso importante que quaisquer melhorias sejam incisivas, e não quebrem os seus processos. A Zumer reconhece esta necessidade de desenvolver soluções com baixa curva de aprendizagem e que não rompem com os processos existentes, e que funcionam.

Uma das características da visão da Zumer é democratizar o acesso à informação e aumentar a transparência e eficiência de processos. Soluções como o Zapier, Microsoft Power Automate (anteriormente Microsoft Flow) e com outra abordagem, o Power BI, já automatizam processos, gerem dados e permitem visualizar dados para áreas horizontais como Marketing, Vendas, Recursos Humanos, ou Administração. No entanto, estas ferramentas, na sua grande maioria, não integram com softwares especializados para a construção, ou têm poucos conectores e não foram pensados e desenhados considerando os requisitos exigentes desta indústria.

Plataformas *no-code* (Dynamo para Revit, Zapier, Power Automate) ou *low-code* (Power BI, que tem funcionalidades de programação com uma linguagem própria) possibilitam aos *business* (ou *citizen*) *developers* desenvolverem as suas próprias integrações e automações. Estes são profissionais que dominam a lógica do negócio (p.e. Engenheiros Civis ou Arquitetos), sem conhecimentos profundos de IT, mas que conseguem também desenvolver soluções digitais.

Neste sentido, a solução proposta pela Zumer é uma plataforma modular em cloud com três valências:

1. Integra diferentes fontes de dados utilizadas na construção;
2. Permite alterações aos dados e guarda-as em bases de dados próprias até serem sincronizadas nas fontes de dados originais; e
3. Permite a visualização dos dados e colaboração entre funcionários.

A Figura 1 apresenta a arquitetura de sistema deste caso de uso. Neste caso, o Power BI permite criar conexões, mas apenas num sentido. Isto é, as fontes de dados são configuradas e o Power BI lê estes dados mas, por defeito, não permite escrever de volta para estas fontes. A solução da Zumer para este caso desbloqueia a escrita direta, a partir do Power BI, para as respectivas fontes, como os modelos Revit ou Excel.

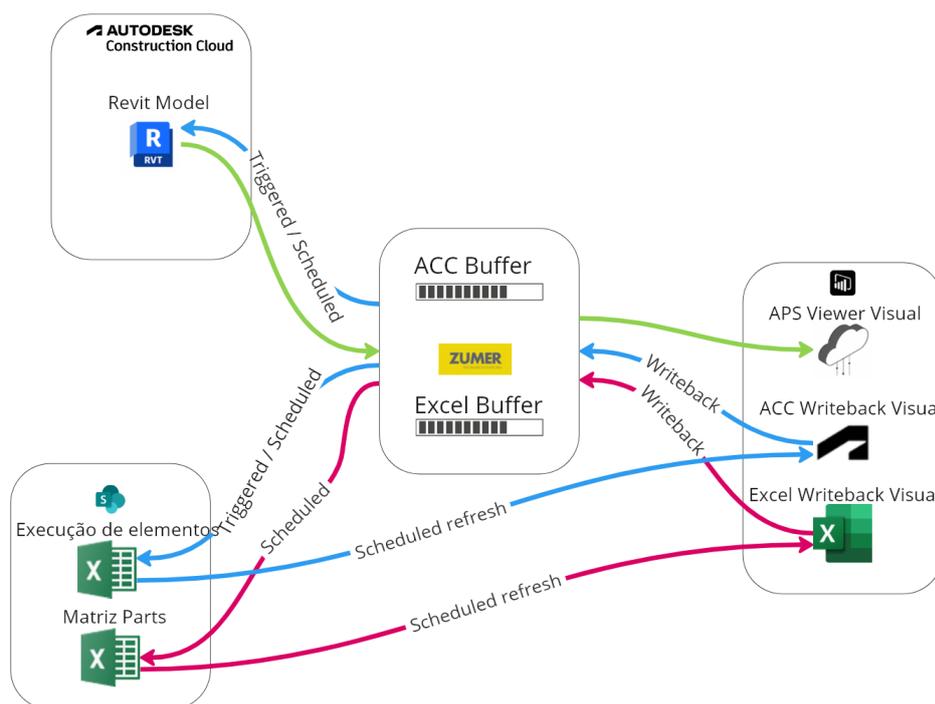
A interface em Power BI é feita com *custom visuals* que são programados em *TypeScript*. Existem três cores nas ligações entre blocos na imagem.

O conjunto de ligações azul representa a escrita do Power BI para um modelo Revit alojado no Autodesk Construction Cloud (ACC) usando as API do Autodesk Platform Services (APS), antigo Autodesk Forge, e se descreve de seguida.

- O *'ACC Writeback Visual'* é um visual que permite a autenticação no ACC e contém uma tabela onde se definem os campos de ID dos elementos BIM, campos editáveis e não-editáveis. As alterações feitas neste visual são guardadas temporariamente numa base de dados *NoSQL* (*'ACC Buffer'*). Estes dados são escritos para o modelo Revit em intervalos regulares com recurso aos *endpoints* da API *Design Automation*, parte do serviço do APS. Quando o trabalho de Design Automation termina, a plataforma Zumer é notificada, extrai a base de dados com a API's do APS e gera uma nova versão do ficheiro Excel em Sharepoint (*'Execução de elementos'*) que serve de fonte de dados ao Power BI. O Power BI está configurado para actualizar os dados periodicamente;
- As ligações a verde são a integração do APS *Viewer SDK* num visual (*'APS Viewer Visual'*), mantendo-se sempre atualizado com a última versão do modelo publicada no ACC. Neste visual é igualmente possível configurar o campo de ID dos elementos BIM e alterar a cor do elemento BIM consoante o valor de um campo como a categoria Revit;
- O fluxo representado a vermelho inicia com um visual de escrita direta para um ficheiro Excel (*'Excel Writeback Visual'*). À semelhança do *'ACC Writeback Visual'*, o utilizador pode definir um campo de ID, e vários campos editáveis e não-editáveis. As alterações em campos editáveis são guardadas temporariamente numa base de dados (*'Excel Buffer'*) até serem escritos no ficheiro Excel em Sharepoint através da API de Sharepoint. Periodicamente o Power BI atualiza esta ligação e mostra os dados mais atuais.

A complexidade da arquitetura está totalmente escondida do utilizador principal, que interage apenas com o visual do Visual Basic, consultando o modelo e os dados associados, alterando dados que são atualizados tanto no modelo como nos ficheiros Excel de gestão da obra. Estes *dashboards* levam os modelos BIM para a frente de obra e passam a estar disponíveis para funcionários que não dominam ferramentas nem terminologia BIM. Assim, o reporte de alterações ao planeamento e execução passa a ser feito de forma centralizada e com um maior controlo sobre os dados. Também do lado da gestão são automatizados vários passos do processo, como a exportação de ficheiros Excel a partir do Revit, ou o upload desses mesmos ficheiros para o Sharepoint.

Olhando de forma mais abrangente, esta abordagem tem vários benefícios. Por um lado, democratiza o acesso à informação sem incorrer em mais custos com licenças adicionais de ACC. A modularidade assegura que a implementação é gradual, com retorno do investimento rápido e consoante as necessidades vão escalando e criam-se automações e integrações entre várias plataformas, tudo dentro da mesma solução.



**Figura 1**  
Arquitetura de sistema envolvendo as plataformas Zumer, Sharepoint, PowerBi e Autodesk Construction Cloud.

#### 4. Caso de aplicação e resultados

Com o avanço da transformação digital na HCI, foi sentida a necessidade de aprimorar os processos de gestão central de informação no Power BI. O objetivo era eliminar as exportações e importações de informação, substituindo-as por ligações diretas às fontes de dados. Essas ligações poderiam ser estabelecidas com o SharePoint da Microsoft, onde a HCI armazena dados e pastas das obras, ou diretamente aos modelos na nuvem da Autodesk Construction Cloud (ACC). Essa abordagem dispensaria a necessidade de add-ins no Revit ou extrações de dados para um repositório antes de atualizar os *dashboards* no Power BI.

Esse foi o primeiro desafio proposto.

O segundo desafio surgiu da experiência dos diretores de obra e encarregados, que sentiam a necessidade de introduzir informações diretamente nos *dashboards*. Informações como datas de execução, estado de conclusão de elementos construtivos e detalhes sobre o que estava adjudicado tornaram-se cruciais. A implementação de uma abordagem bidirecional no Power BI tornou-se fundamental, transformando o processo de gestão de informação não apenas numa análise, mas também numa capacidade de ajuste.

Optou-se por manter os dados no SharePoint da HCI, preservando assim a estrutura organizacional e o *modus operandi* para lidar com ficheiros. Essa decisão foi tomada para garantir a continuidade do fluxo normal de trabalho na HCI. Em paralelo,

os dados BIM são escritos diretamente nos modelos BIM existentes na plataforma ACC Docs.

Esta melhoria no processo de interação com os dados permite que todos os intervenientes, desde os diretores de obra até aos encarregados, e incluindo os administrativos, possam interagir com a informação contida nos modelos BIM, sem necessidade de serem especialistas em BIM. Isso representa uma vantagem significativa na implementação BIM no universo HCI, facilitando o acesso e a compreensão dos dados por todos os intervenientes.

Um terceiro desafio proposto à Zumer foi a criação de um visualizador 3D integrado no Power BI, aprimorando o que já estava implementado na HCI que dependia de uma licença de software adicional que foi descontinuada. Este visualizador permitiria a coloração dos elementos com base em valores dos parâmetros escolhidos, proporcionando uma representação visual das métricas alcançadas por tipo de dados.

**Figura 2**

Divisão de um modelo em *parts* para planeamento de obra e integração no PowerBI.



Alguns elementos já foram implementados, enquanto outros estão em fase de conclusão. Os resultados alcançados até agora são notáveis, não pela sofisticação da solução informática, mas pelo impacto em ambiente de obra. Os dados estão sempre sincronizados, atualizados e disponíveis, refletindo o sucesso da nossa abordagem na busca pela excelência na gestão da informação no contexto da transformação digital.

Com estes três desafios propostos à Zumer foi possível melhorar o fluxo de informação e foi possível criar ligações de dados externos à metodologia BIM para melhor controlo e eficiência da obra. As figuras 3 e 4 mostram diferentes dashboards, para execução da estrutura de betão-armado e desvios de quantidades, e faseamento de obra.

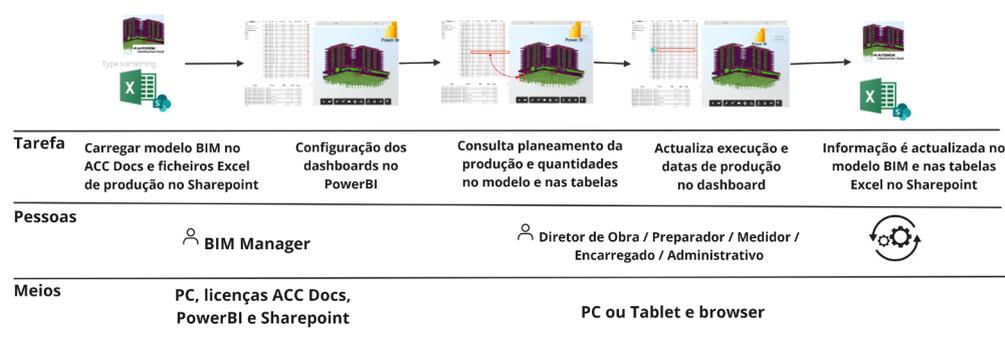


**Figura 3** Dashboard PowerBI com o planeamento e execução da estrutura de betão armado, e desvios de quantidades em relação ao mapa de quantidades inicial (dados obscurecidos por confidencialidade).



**Figura 4** Dashboard PowerBI com ligação ao faseamento de obra.

A figura 5 representa o fluxo de trabalho desenvolvido. De salientar que os funcionários da produção consultam e alteram informações nos modelos e nas tabelas de produção sem formação específica em BIM ou em nenhuma plataforma. Além disso, não necessitam de licenças de software adicionais.



**Figura 5** Fluxo de trabalho em implementação nas obras HCI.

## 4. Conclusão

Para as empresas e para as construtoras em particular, a organização e centralização de dados é uma transformação significativa na gestão de informação na construção. A eficaz centralização de fontes como modelos BIM e vários mapas em Excel produzidos pela obra. Essa centralização oferece uma base sólida para tomadas de decisões mais rápidas e informadas em todas as fases da obra.

Os *dashboards* desenvolvidos no Power BI ajudam a difundir o BIM na HCI Construções, S.A., ajudam também a redefinir a gestão de informação na construção, promovendo eficiência, e qualidade nas obras, sem prejudicar o modo de funcionamento da empresa.

Tal como afirmado na introdução, a complexidade e variedade de informação que uma empresa de construção gere torna difícil desenvolver uma estratégia e estrutura de dados. Acreditamos que esse desenvolvimento deve ser implementado gradualmente, em partes específicas da operação que tragam elevado retorno financeiro e envolvendo as pessoas. Para isso é preciso ter em conta as capacidades tecnológicas atuais dos colaboradores. Deverá ser a tecnologia a elevar essas capacidades, e não o contrário. Os modelos BIM podem ser muito fáceis de usar, se as interfaces forem adequadas.

Na implementação da estratégia é essencial preservar a modularidade e escalabilidade para desenvolvimentos futuros, que mesmo estando mapeados, podem ser priorizados de acordo com os resultados.

Finalmente, a Zumer desenvolve uma solução integrada com funcionalidades semelhantes, não dependentes do Power BI, SharePoint ou Autodesk Construction Cloud, em uso e implementação noutras empresas.

## Referências

- [1] Anker. (2024). Anker. <https://www.ankerdb.com>. Consultado em 2024.02.17.
- [2] Atuahene, B. T., Kanjanabootra, S., & Gajendran, T. (2023). Transformative role of big data through enabling capability recognition in construction. *Construction Management and Economics*, 41(3), 208-231. doi:10.1080/01446193.2022.2132523.
- [3] DiRoots. (2024). <https://diroots.com/revit-plugins/>. Consultado em 2024.02.15.
- [4] Li, F., Laili, Y., Chen, X., Lou, Y., Wang, C., Yang, H., Gao, X., & Han, H. (2023). Towards big data driven construction industry. Em *Journal of Industrial Information Integration* (Vol. 35). Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.jii.2023.100483.

# CDE – Controlo de qualidade e gestão de documentação com Power BI e Python

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.29>

Hugo Silva<sup>1</sup>, Luís Ribeirinho<sup>1</sup>,  
Sofia Henriques<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TPF – Consultores de Engenharia e Arquitetura, S.A., Lisboa

## Resumo

No âmbito do desenvolvimento de um projeto internacional BIM (4 Hospitais), na qualidade de projetista, a TPF – Consultores de Engenharia e Arquitetura, S.A., foi gestora do CDE (Ambiente Comum de Dados) do projeto e de toda a documentação oficial contida na plataforma.

O *Autodesk Construction Cloud* (ACC), CDE adotado para o projeto, trouxe muitas vantagens ao nível da colaboração para a modelação, partilha/emissão de documentação e utilização de metadados para a gestão de entregáveis. No entanto, por critérios de projeto e por imposição do Cliente, houve necessidade de prescindir de algumas dessas funcionalidades, o que se traduziu numa gestão manual dos entregáveis. Essa gestão tornou-se morosa e com grande potencial de erro humano, trazendo desafios à manutenção do CDE com informação atualizada e fiável para o utilizador.

Foram feitas auditorias com recurso ao *Power BI*, que revelaram inconsistências na localização de alguns entregáveis.

Foram desenvolvidos *scripts* em *Python* para automatizar o processo e reduzir erros manuais, resultando em melhorias operacionais significativas, como a redução do tempo dedicado à gestão de documentos. A implementação destes *scripts* destacou o potencial da automação para melhorar processos em projetos BIM de larga escala, evidenciando a importância de soluções personalizadas para responder a exigências específicas dos clientes e garantir eficácia na gestão de projeto complexos.

## 1. Introdução

A gestão eficiente da informação tem se tornado cada vez mais essencial para o sucesso na entrega de projetos e gestão de ativos na indústria AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação). Nesse contexto, os CDEs (Ambiente Comum de Dados), têm desempenhado um papel crucial, ao proporcionar um ambiente centralizado para alojar, gerir e partilhar documentos relacionados com os projetos BIM. A TPF - CONSULTORES DE ENGENHARIA E ARQUITETURA S.A., reconhecendo a importância desses sistemas, e no âmbito de um projeto multidisciplinar de 4 Hospitais, adotou um único CDE – *Autodesk Construction Cloud* (ACC), proporcionando um ambiente colaborativo onde o projeto é desenvolvido e onde todas as partilhas e entregáveis estão centralizados.

Destes 4 hospitais, 3 são de 1 piso, partilhando a mesma solução conceptual, enquanto o 4.º hospital possui 3 pisos, apresentando um projeto conceptual distinto dos restantes.

Procurou-se otimizar a produção e acelerar os processos, produzindo modelos e entregáveis únicos sempre que aplicáveis simultaneamente aos 3 hospitais de um piso. Dentro da nomenclatura convencionada para o projeto, que inclui um código exclusivo para cada hospital, foi adotado um código específico aplicável a estes 3 hospitais, em detrimento da utilização do código específico de cada hospital. Esta abordagem preveniu que fossem produzidos e extraídos elementos em triplicado com o mesmo conteúdo.

Ainda assim, a TPF Consultores na qualidade de projetista e gestora do CDE, produziu e geriu quantidade significativa de entregáveis, que, até à data do presente artigo, totalizam 14.131 ficheiros.

Destaca-se não apenas a complexidade do projeto em si, como também a importância de um CDE na padronização, organização e eficiência dos processos de trabalho em projetos de Engenharia e Arquitetura.

## 2. Premissas da organização dos documentos

A estrutura do CDE foi enquadrada com o recomendado pela ISO 19650-1 [1] e registado no BEP (BIM; Execution Plan), que está disponível para toda a equipa no próprio CDE. As recomendações da norma foram neste caso adaptadas, e em vez de utilizados os estados dos ficheiros, estes forma organizados em pastas.. Isto é, em detrimento de serem utilizados metadados para definir o estado dos ficheiros, estes mudam de estado de acordo com a pasta específica para onde transitam. As pastas “00\_WIP” e “01\_SHARED” estão reservadas à Entidade Contratada (TPF Consultores), enquanto a pasta “02\_PUBLISHED” serve como local de submissão e entrega dos entregáveis à Entidade Contratante. Embora o termo “Published” sugira uma conotação de aprovação, é importante notar que, neste contexto, refere-se à autorização para ser entregue ao Cliente. A sua utilização, reflete principalmente, a etapa de transição

de documentos para a próxima fase do processo, em conformidade com os requisitos contratuais e para a realidade do projeto.

A utilização da ferramenta do ACC de configuração das regras de codificação, tem sido importante para prevenir o carregamento de qualquer ficheiro que não esteja em conformidade com a nomenclatura convencionada para o projeto. Para além das vantagens evidentes de controlo e prevenção na qualidade de nomenclatura dos elementos no CDE, cada código que compõe a nomenclatura é automaticamente convertido em metadados. Estes metadados, proporcionam uma maior robustez no acesso à documentação por meio dos filtros disponíveis na plataforma.

Aproveitando os metadados dos ficheiros, associados aos filtros disponíveis no ACC, durante a fase de mobilização e tomadas de decisão com a Entidade Contratante, foi acordado que a pasta dos entregáveis “02\_PUBLISHED” seria subdividida apenas em 3 pastas: 1) peças comuns aos 4 hospitais; 2) peças relacionadas aos hospitais de 1 piso; 3) peças referentes ao hospital de 3 pisos. Cada uma destas pastas seria um repositório único das últimas revisões atualizadas, sem subdivisão adicional de pastas, tendo ficado este processo definido no BEP.

Considerando que o número da revisão faz parte da codificação que compõe o nome do ficheiro, a TPF Consultores assumiu o compromisso de mover as revisões desatualizadas para as respetivas pastas “OLD” sempre que houvesse uma atualização de peças de projeto. Esta responsabilidade, traduz-se num trabalho manual, necessário para manter as pastas dos entregáveis organizadas com apenas a revisão atual e válida, uma vez que esta abordagem não permite o uso do versionamento automático do ACC.

Infelizmente, numa fase mais avançada do projeto, a Entidade Contratante solicitou a reestruturação das pastas dos entregáveis para um formato mais tradicional, adicionando subpastas às pastas anteriormente definidas, com a seguinte hierarquia: Hospital > Fase > Domínio > Disciplina > Tipo de peças de projeto > Editáveis/Não editáveis. Esta subdivisão consecutiva de subpastas, resultou em 376 pastas distintas para a distribuição dos entregáveis, exigindo, em alguns casos, cópias para pastas distintas, como no caso dos entregáveis aplicáveis aos 3 hospitais de 1 piso.

### 3. Desafios

Diante das premissas estabelecidas pela Entidade Contratante para a organização dos entregáveis, surgiram grandes desafios na manutenção da documentação organizada em conformidade com as regras acordadas. Isto, não só pelo volume de entregáveis em causa, mas também pela complexidade conferida ao processo, associado à pressão de cumprimentos de prazos, cujos marcos de entrega variam para cada um dos quatro hospitais.

Devido à natureza manual desta gestão, este processo tornou-se extremamente moroso e com forte propensão a erro humano.

Em cada entrega, é necessário distribuir os entregáveis entre as 376 pastas, identificar os ficheiros com revisões desatualizadas e movê-los para as respetivas pastas “OLD”. Adicionalmente, para os entregáveis aplicáveis aos 3 hospitais de 1 piso, é preciso fazer cópias para pastas correspondentes aos 3 hospitais, mesmo que a entrega esteja relacionada apenas a um deles. Dada à pressão de cumprimento do prazo de cada entrega, essas eventuais cópias externas ao marco de entrega, são muito suscetíveis de ficarem num plano de prioridade secundária.

Estes desafios geraram preocupações na equipa BIM e Coordenador de projeto da TPF Consultores, em relação à manutenção da qualidade organizativa dos documentos, resultando na realização periódica de auditorias internas pela TPF Consultores para avaliar o seu estado e corrigir inconsistências, quando aplicável.

## 4. Auditorias

A partir do ACC, é extraída uma listagem em formato .xlsx de toda a documentação existente na pasta “02\_PUBLISHED”. Esses dados são posteriormente lidos e transformados usando o *Microsoft Power Query*, sendo subsequentemente, empregues em vários *dashboards* criados internamente pela TPF Consultores, utilizando o *Microsoft Power BI*.

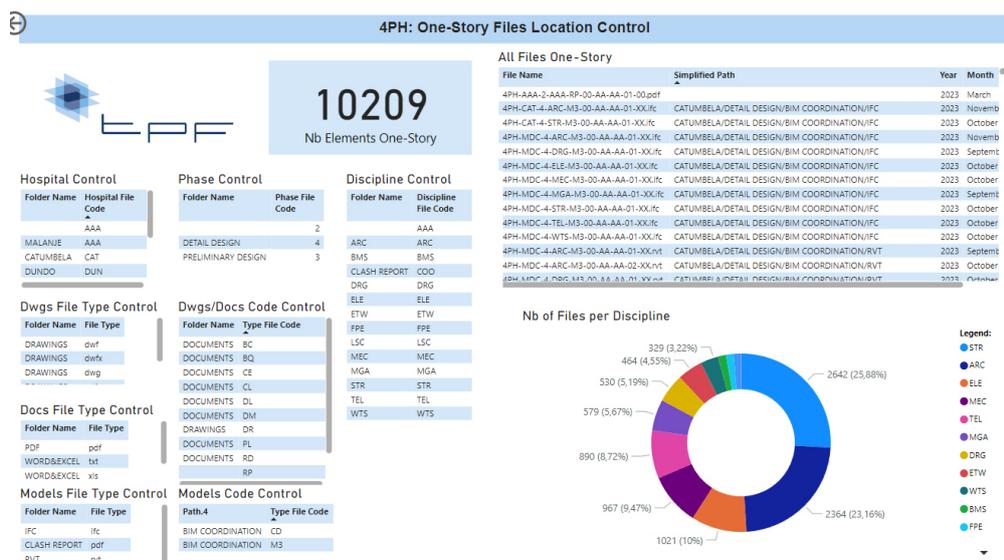
É relevante observar que a inclusão das informações dos metadados dos ficheiros nestas listagens, tem facilitado o tratamento dos dados para as auditorias da qualidade organizativa da documentação.

### 4.1. Análise holística

Uma das abordagens para as auditorias internas da TPF Consultores, centra-se no cruzamento de dados relacionados com os códigos dos entregáveis e ao nome das pastas onde estes estão alojados. Nessa perspetiva, foram produzidos *dashboards* em que exibem de uma forma global essa informação com o fim de facilitar uma análise visual e identificar possíveis inconsistências, nomeadamente no que respeita à correta localização dos ficheiros.

Estes *dashboards* apresentam informação destinada à observação humana, proporcionando ao utilizador a capacidade de realizar uma análise mais crítica e abrangente, em contraste com tabelas destinadas a apresentar tipos de erros previamente identificados.

Na Figura 1, encontra-se apresentado um exemplo de um desses *dashboards*.



**Figura 1**  
Exemplo de dashboard em Power BI dos hospitais de 1.piso.

A utilização destes dashboards tem sido eficaz na identificação de inconsistências de diversas naturezas, incluindo a localização inadequada de entregáveis, semântica incorreta de nomenclaturas, falta de entrega de todos os formatos de ficheiros preconizados no BEP, ou erros em alguns formatos entregues.

Num caso pontual, também foram identificadas pastas do ACC, que não tinham sido configuradas para receber exclusivamente ficheiros em conformidade com as regras de codificação.

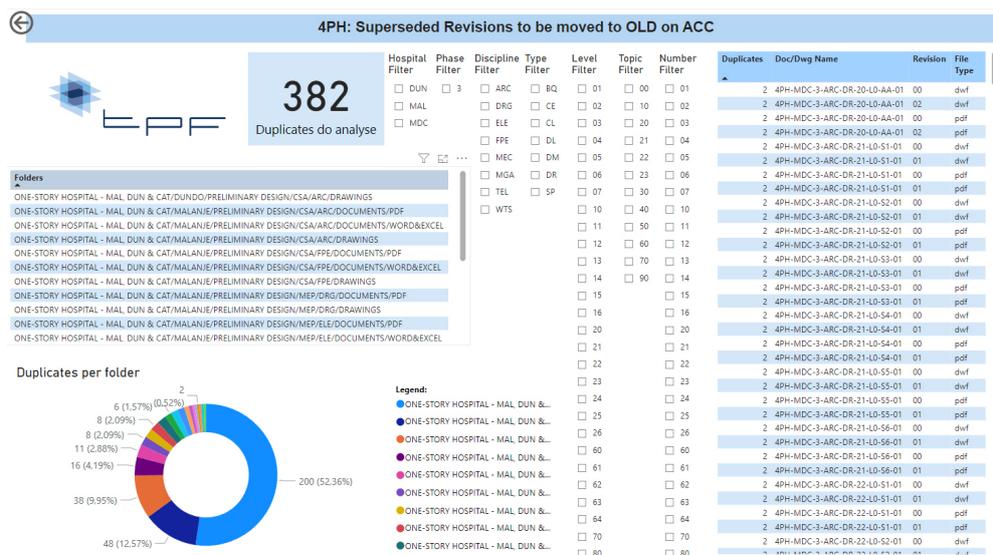
No entanto, a maioria das inconsistências encontradas através destes dashboards referem-se principalmente à incorreta localização de entregáveis na pasta “02\_PUBLISH”.

## 4.2. Identificação de revisões desatualizadas

Manter as pastas dos entregáveis apenas com a última revisão válida representa um desafio significativo, havendo a necessidade de verificações robustas. Conforme mencionado anteriormente, cumprir com sucesso esta tarefa afigura-se bastante desafiante, pois implica identificação manual das revisões desatualizadas entre inúmeros ficheiros dispersos em inúmeras pastas.

Nesse sentido, foi desenvolvido um dashboard em Microsoft Power BI específico para abordar este tema (Figura 2), identificando automaticamente entregáveis com mais do que uma revisão e que se encontram alojados na mesma pasta.

**Figura 2**  
Dashboard em Power BI de identificação de revisões desatualizadas.



Para a deteção automática deste tipo não-conformidade, não bastou utilizar uma simples transformação de dados no *Power Query*, mas foi também necessário criar uma *measure* em linguagem DAX.

Este *dashboard* foi muito importante para a deteção automática de ficheiros com revisões não-conformes. Apesar de se identificar eficazmente esses casos, foi-se registando em entregas sucessivas um grande número de não-conformidades, o que implicava mover todas estas instâncias para as respetivas pastas “OLD”, que estavam dispersas pela extensa estrutura de pastas.

### 4.3. Identificação de entregáveis em falta

Ao longo das várias entregas de projeto, constatou-se a ausência de entregáveis em cada um dos três hospitais de 1 piso, devido à não realização sistemática das cópias necessárias entre estes 3 hospitais. Para abordar esta situação, recorreu-se novamente ao *Power BI* para filtrar entregáveis que existem apenas em 1 ou 2 destes hospitais. As listagens resultantes indicam claramente os elementos que estão em falta.

## 5. Automatização do processo

Com base nas conclusões retiradas das auditorias, foi evidente que era vital encontrar mecanismos automáticos para equipar o Coordenador de Projeto com ferramentas que o ajudassem na correta organização e manutenção da documentação no CDE.

Para atender a essa responsabilidade, foram criados *scripts* em linguagem *Python* [2], executados em ambiente *Microsoft Windows*, utilizando o módulo *OS* para interação com o sistema operativo e comunicação com o ACC através do *Autodesk Desktop Connector*.

Para a sua execução, o utilizador final (Coordenador de Projeto) apenas precisa de abrir o ficheiro *Python* com a aplicação do *Python* do *Windows*, onde o *script* corre automaticamente.

Os *scripts* basearam-se na identificação dos ficheiros de acordo com as regras de nomenclatura adotadas para o projeto, fazendo também uma correlação à estrutura de pastas definidas pela Entidade Contratante. Estes *scripts* podem ser facilmente adaptados para outros projetos, mediante a alguns ajustes, nomeadamente nas listas de códigos de nomenclatura e nas listas que definem cada nível hierárquico da estrutura de pastas, quando aplicável.

### 5.1. Difusão dos entregáveis

A distribuição dos entregáveis pelas diversas pastas, a cada entrega à Entidade Contratante, tem consumido um tempo considerável ao Coordenador de Projeto, com a agravante de ser em momentos de forte pressão para cumprir prazos.

O *script* criado para facilitar este processo, baseou-se na leitura de cada código que compõe a nomenclatura de cada entregável. A partir destes códigos, o *script* identifica o caminho da pasta para onde cada ficheiro deve ser movido e, quando aplicável, realiza cópias para outras pastas.

Para tal, o código do *script* serve-se de uma nova pasta criada no ACC – “PUBLISH GATEWAY” – com o objetivo de definir um caminho fixo de origem a partir do qual os ficheiros são distribuídos, mas também para garantir que os ficheiros carregados nesta pasta cumprem a sintaxe da nomenclatura obrigatória definida no BEP, através da ferramenta de configuração das regras de codificação do ACC.

A Figura 3 ilustra o fluxo utilizado para esta automatização.



**Figura 3**  
Fluxo da automatização da difusão dos entregáveis.

## 5.2. Remoção das revisões desatualizadas

O *script* para a remoção de entregáveis desatualizados, baseou-se na leitura dos nomes de todos os documentos alojados em cada uma das 376 pastas das entregas, e na procura de repetições de nomenclaturas de ficheiros com a mesma extensão, excluindo o código de revisão. Foram utilizados ciclos contados (*loops*) para permitir a identificação de mais do que duas instâncias iguais, interrompendo o ciclo sempre que não se verificassem nomenclaturas iguais.

Antes de se aplicar este *script* no CDE, foram feitos vários testes numa estrutura de pastas temporária num servidor local, criada para este efeito. Dada a sensibilidade desta operação e o grande volume de ficheiros movidos quando este *script* é aplicado ao CDE, o código gera um *log* em formato .csv, sempre que é executado, listando todos os ficheiros movidos, os seus caminhos de origem e de destino final. O nome deste novo ficheiro assume a data e hora em que o *script* terminou com sucesso.

Estes *logs* têm sido importantes para manter o registo da documentação movimentada após a entrega à Entidade Contratante, e ter uma perceção da regularidade com que o *script* está a ser aplicado.

## 5.3. Cópias de entregáveis comuns a vários hospitais

Após a implementação dos dois *scripts* mencionados acima, observou-se que a documentação se tornou significativamente mais organizada, cumprindo com as premissas acordadas com a Entidade Contratante. No entanto, as auditorias explicadas no capítulo 4.3 revelaram que cerca de 1670 ficheiros ainda necessitavam de serem copiados, resultado da fase em que estes *scripts* ainda não tinham sido criados. Embora fosse previsível ser necessário utilizar apenas uma vez uma rotina de correção dos elementos entregues em momentos anteriores, justificou-se criar um *script* para mitigar estas inconsistências, dada à quantidade substancial de casos que precisavam de ser resolvidos. Este *script* adicional seguiu o mesmo princípio dos 2 códigos anteriores, em que neste caso, é realizada a comparação de conteúdos entre as diversas pastas homólogas dos 3 hospitais e feita a cópia dos ficheiros em falta sempre que a condição do código se verifique verdadeira.

Considerando o grande volume de ficheiros que estavam a ser copiados no CDE de uma só vez, o *script* também gera um *log*, semelhante ao que foi previsto no código explicado no capítulo “5.2. Remoção das revisões desatualizadas”.

## 6. Conclusões

Na esfera BIM, a gestão de informação transcende os modelos 3D, abrangendo todos os processos desenvolvidos para que a informação transite e fique disponível de uma forma mais eficiente e eficaz no CDE.

Embora um CDE como o ACC disponibilize ferramentas importantes que auxiliam na organização documental, só será possível tirar partido delas se todos intervenientes estiverem dispostos a usá-las.

Destaca-se a importância do ACC em poder prevenir o carregamento de ficheiros que não estejam em conformidade com as regras de codificação, garantindo assim uma estruturação fiável de dados para a execução bem-sucedida dos *scripts*. Também se revelou crucial a possibilidade de gerar listagens a partir do ACC, para alimentar o *Microsoft Power BI* com os dados necessários para a realização das auditorias. Os diversos *dashboards* criados têm desempenhado um papel fundamental na condução de auditorias, à documentação do CDE, que têm acompanhado e auxiliado na organização documental durante todo o ciclo de entregas de projeto. O *Autodesk Desktop Connector* foi igualmente essencial ao possibilitar a comunicação entre o sistema operativo do *Windows* e o ACC, viabilizando a execução de automatismos em *Python* no CDE.

No contexto abordado no presente artigo, verificou-se impraticável cumprir os requisitos de organização do CDE sem a implementação de automatismos e fluxos, envolvendo a interação entre diferentes ferramentas tecnológicas. Estes processos tecnológicos foram cruciais para o sucesso na organização de milhares de documentos. Todos os ficheiros entregues a cada momento encontram-se nas pastas definidas, com todas as duplicações necessárias, não existindo neste momento ficheiros com revisões incorretas. Este resultado não teria sido alcançado numa abordagem manual de gestão e organização dos documentos no CDE.

## Referências

- [1] B/555, "BS EN ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles.", 2018.
- [2] João Pavão Martins, *Programação em PYTHON: Introdução à programação utilizando múltiplos paradigmas*. Instituto Superior Técnico, 2020.



# Conceptualização de um ambiente comum de dados (CDE) orientado para pequenas e médias empresas

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.30>

**João Aleixo<sup>1</sup>, João Pedro Couto<sup>2</sup>,  
João Daniel Pereira<sup>3</sup>, João Marcelo Silva<sup>4</sup>,  
Miguel Azenha<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> CTAC, Universidade do Minho, Guimarães, 0009-0006-8560-9588

<sup>2</sup> CTAC, Universidade do Minho, Guimarães, 0000-0001-9607-0596

<sup>3</sup> Innovationpoint S.A, DST Group, Braga, Portugal

<sup>4</sup> BIM+, DST Group, Braga, Portugal

<sup>5</sup> ISISE, Universidade do Minho, Guimarães, 0000-0003-1374-9427

## Resumo

Em Portugal, as Pequenas e Médias Empresas (PMEs) enfrentam vários obstáculos na adesão à transformação digital inerente à evolução dos vários setores de atividade. No setor da Arquitetura, Construção, Operação e Construção verifica-se que as PMEs apresentam défices na implementação de soluções digitais avançadas, em particular ao nível das plataformas de gestão de informação de projeto. Os entraves financeiros, e também a escassez de conhecimento técnico especializado, dificultam a adoção de soluções avançadas de gestão da informação.

São várias as iniciativas que contribuem para mitigar estes entraves, desde publicações científicas, planos mobilizadores para o desenvolvimento, ações de financiamento e formação técnica. No entanto, a necessidade de ferramentas passíveis de serem aplicadas ao quotidiano operacional das organizações continua a ser um espaço com potencial de investigação no setor da construção. Neste sentido, este artigo apresenta um estudo que se concentra na conceptualização, e consequente desenvolvimento, de um Ambiente Comum de Dados, especialmente concebido para PMEs, alinhado com as especificações da ISO 19650, que visam assegurar a aplicabilidade da plataforma em contexto operacional. Será exposto o processo de integração dos requisitos definidos pelo padrão ISO no desenvolvimento da solução de CDE

em causa, de forma a tornar evidentes os benefícios de uma plataforma desenvolvida especialmente para a gestão da informação na construção. Além disto, e através da colaboração com diferentes intervenientes do setor da construção, são apresentadas evidências sobre os benefícios tangíveis da utilização de um CDE, demonstrando como esta iniciativa pode ser um catalisador para a digitalização mais inclusiva da indústria da construção em Portugal. Este artigo procura contribuir para a democratização da transformação digital na construção civil e propõe uma alternativa viável para que as PME's deste setor possam implementar ferramentas especializadas. A plataforma desenvolvida será disponibilizada, em versão aberta, assim que o seu nível de maturidade e desenvolvimento o permitam.

## 1. Introdução

O setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) em Portugal, significativo na composição do Produto Interno Bruto e essencial para a criação de postos de trabalho [1], tem atravessado mudanças de paradigma impulsionadas pela transformação digital. As Pequenas e Médias Empresas, que representam a grande parte do tecido empresarial deste setor, enfrentam vários desafios na adesão a esta mudança de paradigma de trabalho. Uma das inovações mais relevantes para o setor é o Ambiente Comum de Dados (CDE), cujo objetivo é otimizar a gestão de informação nos projetos de construção [2].

São várias as alternativas de CDE existentes no mercado, como o Autodesk BIM 360, o Trimble Connect, o Oracle Aconex, entre outros, no entanto as PME's enfrentam dificuldades na sua implementação [3]. Os elevados custos de subscrição, que constituem encargos financeiros difíceis de comportar, associados à escassez de conhecimento técnico, específico para cada solução de CDE, apresentam-se como os principais motivos para a não implementação deste tipo de soluções [4]. Por outro lado, o facto do fluxo de trabalho ser muitas vezes restringido às plataformas e ferramentas da mesma empresa de *software*, é um fator desmotivador para o investimento em soluções avançadas de Gestão de Informação.

Por consequência disto, muitas PME's optam pela utilização de ferramentas convencionais de gestão documental, como a Dropbox ou a Google Drive que, apesar das suas capacidades, não foram desenvolvidas para albergar os requisitos de colaboração e gestão da informação defendidos pela ISO 19650 [5], como a gestão de metadados e perfis de acesso à de informação ou a aplicação de regras de nomenclatura de ficheiros. A conjugação destes fatores expõe uma lacuna deste mercado, a escassez de soluções de CDE mais acessíveis e interoperáveis, que tenham por base a utilização de padrões abertos, importantes para a padronização da colaboração entre os intervenientes do setor [6].

A literatura existente expõe a importância da implementação de Gestão de Informação no âmbito de projetos da construção civil e evidencia os potenciais benefícios da sua implementação, não só ao nível operacional e financeiro de cada organização, com reduções de custos significativas [7], mas também ao nível do mercado enquanto ecossistema. Para além da extensiva literatura científica, existem iniciativas abertas, como a OpenCDE API da buildingSMART, que agem como catalisadores para a implementação democrática de soluções avançadas de gestão de informação, alinhadas com os padrões de qualidade e interoperabilidade mais atuais do mercado. Além disto, os padrões abertos de dados também desenvolvidos pela buildingSMART, como o BIM Collaboration Formart (BCF) e o Information Delivery Specification (IDS), são ferramentas que potencializam a interoperabilidade e colaboração entre os intervenientes de um projeto de construção [8]. Estas iniciativas constituem um ponto de partida robusto para o desenvolvimento de soluções abertas que sejam passíveis de serem implementadas no quotidiano operacional dos vários intervenientes do setor. Neste sentido, o pacto de inovação R2U Technologies | Modular Systems, através

do Grupo de Trabalho 5, promove o desenvolvimento de plataformas de colaboração e gestão de informação de projeto, no sentido de potencializar a criação de ferramentas de valor para a indústria. Por via deste pacto de inovação, o desenvolvimento de soluções práticas e alinhadas com as necessidades do mercado é cada vez mais uma realidade, o que permite dotar os vários intervenientes do setor AECO de ferramentas avançadas de gestão de informação.

Os aspetos apresentados até aqui constituem as fundações necessárias para a conceptualização, e posterior desenvolvimento, de um Ambiente Comum de Dados especialmente desenvolvido para acomodar as necessidades das PME's inseridas no setor da construção em Portugal e ajudar a potencializar a transformação digital desta indústria. O CDE a desenvolver deve apresentar-se com uma solução robusta para a gestão de informação, passível de ser implementado na grande generalidade dos projetos da construção civil. Para este efeito, a adesão aos requisitos elementares traçados pela serie ISO 19650 [9] é um aspeto fundamental para assegurar a aplicabilidade da plataforma e garantir a interoperabilidade entre todos os utilizadores. Além disto, a pareceria direta com intervenientes operacionais do setor AECO em Portugal permite orientar o desenvolvimento do CDE em função dos desafios enfrentados no desenrolar dos processos decorrentes da sua atividade profissional. Esta conjugação de princípios permite que o desenvolvimento do CDE esteja alinhado com a realidade do setor e confere à plataforma maior transversalidade no âmbito de aplicação em diferentes contextos do setor AECO.

Neste artigo serão apresentados os processos levados a cabo no âmbito do desenvolvimento do Ambiente Comum de Dados. Para isto o conteúdo foi organizado de forma a expor, em primeira instância, a abordagem à temática em questão, através da exposição da metodologia de investigação e das soluções adotadas para dar resposta ao requisitos do trabalho. Posteriormente a isto, será aprofundada a visão sobre a implementação das soluções tecnológicas implementadas, dando a conhecer o processo de desenvolvimento adotado. De seguida, será feita a apresentação do CDE, através da demonstração das seus principais ambientes de trabalho. Por fim, serão tecidas as conclusões obtidas com a realização deste trabalho de forma a compilar os ensinamentos principais e próximos passos no processo de desenvolvimento de soluções avançadas de gestão de informação para o setor AECO.

## 2. Metodologia

O desenvolvimento deste Ambiente Comum de Dados para o setor AECO inicia-se com uma extensa consulta da literatura existente. Esta etapa foi fundamental para compreender as melhores práticas, tendências atuais e necessidades do setor. O foco da investigação foi colocado em estudos que incidem sobre a gestão eficiente de informações em projetos de construção, sob a orientação dos padrões estabelecidos pela ISO 19650, complementados pelos respetivos Anexos Nacionais. Esta consulta permitiu definir os seguintes requisitos funcionais, fundamentais para o desenvolvimento de uma solução de CDE robusta e eficaz:

- Gestão de Utilizadores:
  - Definição de Perfis de utilização;
  - Controlo de acessos e consulta de informação;
- Fluxo de Trabalho:
  - Gestão de diferentes ambientes de projeto;
  - Especificação de dicionários semânticos de projeto;
  - Ferramentas de Colaboração e Coordenação BIM;
  - Estados de Conformidade – Trabalho em Curso, Partilhado, Publicado;
- Gestão de Informação:
  - Gestão e armazenamento documental;
  - Implementação de metadados;
  - Arquivo e Auditoria;
  - Regras de nomenclatura de ficheiros;
  - Controlo de Versão e Revisão.

De forma a conceber uma plataforma capaz de dar resposta os requisitos apresentados, foi necessário definir as soluções tecnológicas a implementar para o desenvolvimento do CDE. Esta seleção teve como critérios a capacidade de satisfação dos requisitos definidos para o CDE e também a curva de aprendizagem e acessibilidade, necessárias para a sua correta implementação.

Visto que o CDE será de utilização conjunta, por parte de diferentes intervenientes num projeto, optou-se pelo desenvolvimento de uma plataforma Web, acessível através de qualquer navegador de internet. Este tipo de solução exige a integração de alguns componentes que, em conjunto com outros serviços, asseguram o eficaz funcionamento do CDE.

Em primeiro lugar, foi concebido *backend* do sistema, constituído pelas ferramentas e métodos responsáveis pela gestão e armazenamento de todos os dados da plataforma. Para isto foi concebida uma estrutura de base de dados, em SQL Server, um serviço da Microsoft que permite a gestão de diferentes tipos de dados e com aplicação alargada a diferentes contextos operacionais. Posteriormente, foi projetado o *frontend* da aplicação, que constitui a interface gráfica de comunicação entre os utilizadores e a informação armazenada na base de dados. Aqui, a escolha tecnológica assentou no desenvolvimento em React.JS, uma biblioteca JavaScript, de código aberto, concebida especialmente para o desenvolvimento de interfaces para utilizadores.

De forma a garantir a integração eficaz destes, e de outros serviços, foi desenvolvida uma Interface de Programação de Aplicações (API), que agrega o conjunto de métodos de comunicação entre diferentes sistemas. Este protocolo de comunicação foi desenvolvido em C#, com recurso ao Entity Framework Core .NET, também da Microsoft, que além de permitir expor e configurar os métodos de comunicação, possibilita o aumento do nível de abstração das operações com a base de dados do sistema.

Além destes foram implementados serviços como o Keycloak, um sistema de código aberto para a autenticação e autorização de utilizadores, que permite a gestão dos perfis de utilização do CDE, e também componentes da biblioteca aberta IFCJS, que permitem integrar ferramentas de colaboração BIM em navegadores de internet.

### 3. Implementação e desenvolvimento

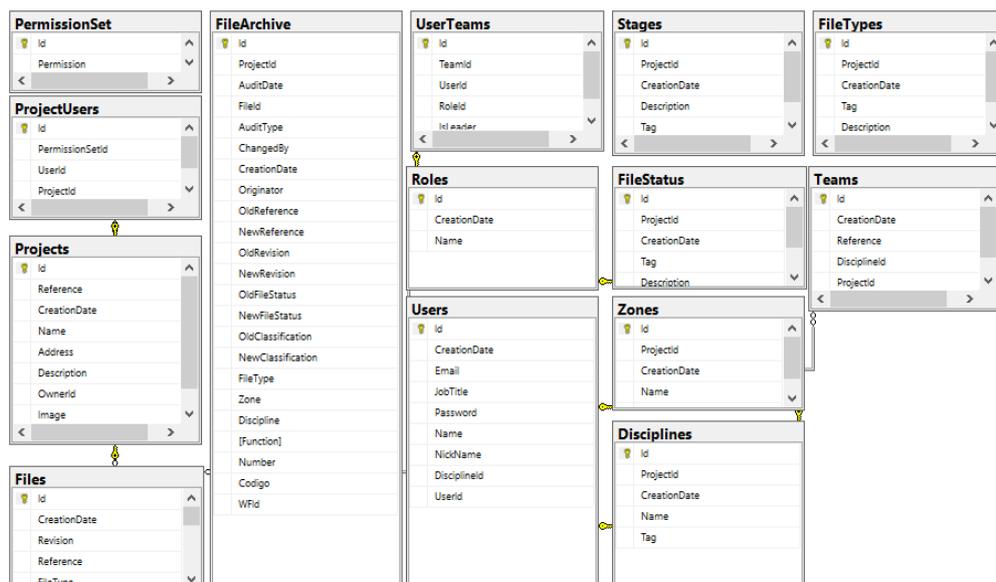
Ao longo deste capítulo serão apresentados os principais processos de implementação das soluções tecnológicas em prol da satisfação dos requisitos operacionais necessários para o correto funcionamento do CDE.

Em primeira instância foi necessário estruturar uma base de dados capaz de suportar toda a informação necessária para a gestão de um projeto de construção. Para isto, foi necessário desenvolver o contexto de dados, com recurso a várias entidades que consistem na representação de todos os objetos existentes na base de dados da plataforma, como projetos, ficheiros, utilizadores, metadados, entre outros, e os seus atributos. Deste modo é possível, não só organizar toda a informação do sistema, como também estabelecer relações entre diferentes objetos, algo particularmente útil no âmbito da gestão do fluxo de trabalho em diferentes ambientes de projeto.

Neste sentido, foi necessário assegurar a criação de uma entidade “Projetos”, na base de dados da plataforma, na qual todos os projetos criados seriam armazenados. Atributos como o nome, referência, localização, descrição, e o utilizador responsável pela criação e gestão do projeto, são salvaguardados graças a esta entidade.

A partir deste momento torna-se possível gerir toda a informação, armazenada noutras entidades, em função do projeto a que esta diz respeito. Aspectos como os diversos documentos, utilizadores ou o dicionário semântico do projeto, onde se inserem parâmetros como as disciplinas/especialidades de projeto, códigos de localização espacial ou classificação, entre outros parâmetros que classifiquem a informação, é possível de ser aplicado graças a este desenvolvimento.

Para isto, é necessário garantir que os metadados que ajudam a classificar a informação na plataforma, são corretamente geridos. Para este efeito, foram desenvolvidas as entidades que constituem o dicionário de projeto, como as disciplinas/especialidades, os estados de conformidade e revisão, estruturas de desagregação funcional e espacial, entre outros. Estas entidades asseguram a correta transmissão e utilização da informação específica de projeto e a sua aplicação, enquanto metadados de um ficheiro, no âmbito da gestão de documentos, o que permite ao CDE gerir de forma eficiente os vários contentores de informação. A Figura 1 apresenta um exemplo da esquematização das entidades e as relações estabelecidas no contexto de dados.



**Figura 1**  
Diagrama das entidades na base de dados.

À semelhança das entidades apresentadas anteriormente, foi também desenvolvida uma entidade “Ficheiros”, quer possibilita a gestão eficiente de todos os documentos a serem subidos no CDE. Uma vez que cada entrada desta tabela contém atributos que a caracterizam, como por exemplo um identificador de projeto, disciplina, estado de conformidade ou um código referente ao originador da informação, é possível definir regras de tratamento da informação com base nestes atributos. Isto adquire especial pertinência no âmbito da implementação de regras para a nomenclatura dos ficheiros submetidos no CDE. Ao iniciar o processo de *upload* de um documento, o utilizador deve especificar um conjunto de atributos que permitam classificar a informação submetida, alguns deste de entrada livre, outros através da seleção de atributos pré-definidos para o projeto em questão. Através deste processo, e aplicando o código apresentado na Figura 2, no método de *upload* de ficheiros é possível assegurar que a regra de nomenclatura de documentos é cumprida para todas as entradas de ficheiros no CDE.

```

1 reference
private string GenerateFileName(string projectRef, string originator, string zone, string type, string discipline, string status, string revision, string function, string? number)
{
    string numberPart = string.IsNullOrEmpty(number) ? "" : "-" + number;
    return $"{projectRef}-{originator}-{function}-{zone}-{type}-{discipline}-{status}-{revision}{numberPart}";
}

```

**Figura 2**  
Método para aplicação da Regra de Nomenclatura de Ficheiros.

Além do método de submissão de ficheiros, foi desenvolvido um método que permite aos utilizadores atualizarem a entrada de um determinado documento. Isto permite ao CDE manter a integridade da informação ao longo dos processos iterativos de desenvolvimento do projeto e controlar ativamente a versão de trabalho, ou o ciclo de revisão, em que o contentor de informação se encontra. Este método possibilita aos utilizadores a atualização, ou iteração, dos metadados associados a um determinado documento de forma a traduzir a sua passagem pelos diferentes estados de conformidade.

Um aspeto importante relacionado com as interações entre utilizadores e documentos consiste no registo de todas as iterações sofridas ao longo do ciclo de vida do documento. Para isto foi definida uma entidade representativa do estado de Arquivo, na qual são registadas, para efeitos de auditoria, todas alterações da informação de um determinado documento.

O CDE está concebido para operar em contextos locais, ao nível dos servidores internos dos gestores do projeto. Isto garante que a informação se encontra salvaguardada localmente, como é defendido pela ISO 19650, e possibilita o acesso remoto à plataforma através de ligações concebidas para o efeito.

No seguimento disto, a gestão de utilizadores é vital para o correto funcionamento do CDE uma vez que permite especificar, para cada perfil de utilizador, a capacidade de consulta e interação com a informação existente. A ISO 19650-2 aponta este requisito como fundamental para a escolha de uma solução de Ambiente Comum de Dados. De forma a dotar a plataforma desta capacidade, é necessário implementar procedimentos que permitam validar os perfis de utilização do CDE. Para este efeito procedeu-se à criação de diferentes perfis de utilização, e consequente mapeamento de permissões, a serem aplicados a cada tipo utilizador.

Com recurso ao servidor de autenticação implementado e a API desenvolvida, é possível mapear diretamente os utilizadores registados, os diferentes perfis de utilização e os diferentes métodos de comunicação com a base de dados. Isto é conseguido com recurso a códigos JWT, que contêm a informação relativa ao utilizador que efetuou o pedido à base de dados, e a consequente verificação pelo controlador da API. Apresenta-se na Figura 3 o exemplo do método de remoção de um documento, que pode ser executado por utilizadores com um determinado nível de permissão num projeto.

**Figura 3**  
Exemplo de validação de permissões de utilizador.

```
// Check user roles from token claims
var userRolesClaim = _contextAccessor.HttpContext.User.Claims.FirstOrDefault(c => c.Type == "realm_access");
if (userRolesClaim != null)
{
    var realmAccessRoles = JsonConvert.DeserializeObject<RealmAccessRoles>(userRolesClaim.Value);

    if (realmAccessRoles?.roles == null ||
        (!realmAccessRoles.roles.Contains("project-owner")) ||
        (!realmAccessRoles.roles.Contains("project-manager")))
    {
        throw new UnauthorizedAccessException("You do not have permission to update files.");
    }
}
```

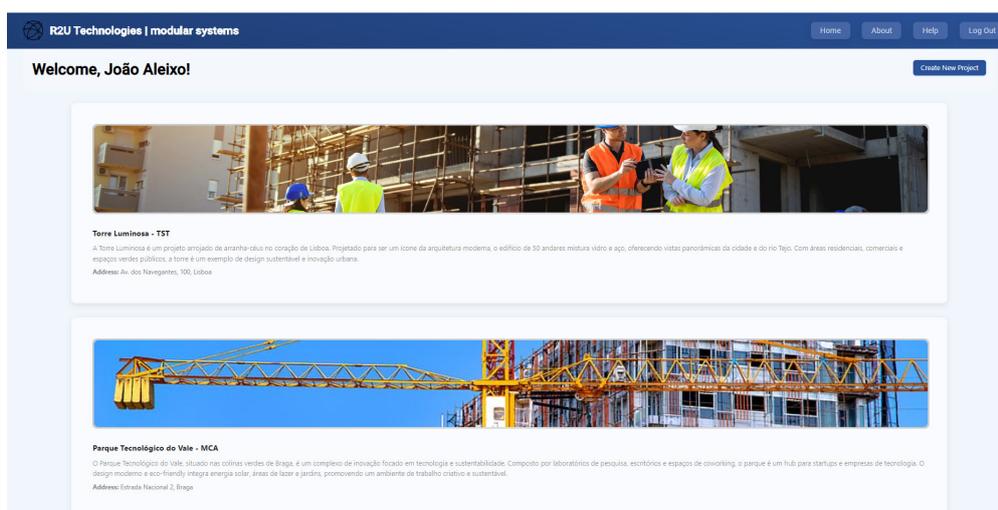
A gestão de permissões é feita desta forma para todos os métodos da API, uma vez que permite mapear eficazmente as ações autorizadas, assim como adicionar novos perfis de utilização, consoante as necessidades operacionais de uma organização.

Ao nível da implementação de ferramentas de colaboração BIM, optou-se por implementar ferramentas de interação com modelos, como visualizadores IFC, através de microsserviços independentes da plataforma. Quer isto dizer que estas ferramentas, em funcionamento autónomo, são incorporadas no código fonte da plataforma de

forma a aumentar o desempenho da ferramenta e tornar a utilização deste tipo de soluções mais flexível.

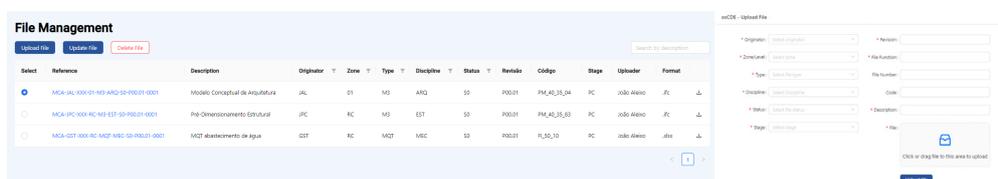
#### 4. Apresentação do protótipo

Uma vez desenvolvido o esquema funcional de CDE, é possível verificar como a conjugação das várias tecnologias da plataforma permitem o funcionamento do CDE enquanto ferramenta de gestão da informação. É apresentada de seguida a página de boas-vindas do CDE, onde é assegurada a navegação entre os diferentes projetos.



**Figura 4**  
Página de gestão de projetos.

Assim que um projeto é selecionado, o utilizador é direcionado para o ambiente de trabalho deste projeto, composto pelos ambientes de gestão documental e de utilizadores, especificação de projeto e visualização de modelos. A Figura 5 ilustra o repositório documental da plataforma e o formulário de submissão de documentos, apresentado aquando do Upload de um ficheiro.

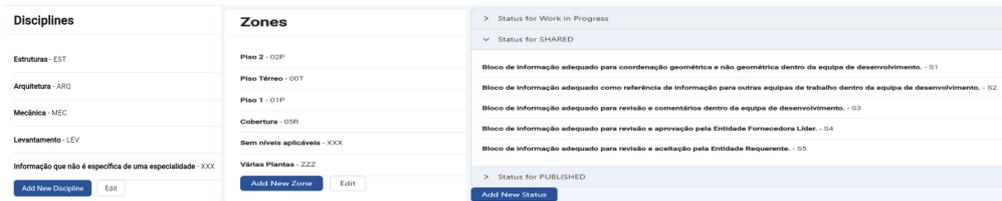


**Figura 5**  
Ambiente de Gestão de Documentos e Formulário de submissão de ficheiros.

Este componente guia o utilizador pelo preenchimento da informação necessária para a correta classificação dos vários metadados associados a um documento. Além disto, é também nesta página que é gerido o controlo do versionamento e atualização dos metadados de um documento por parte dos utilizadores autorizados para tal. Como complemento à gestão documental, e em linha com o exposto anteriormente, o CDE permite aos utilizadores gerirem as informações específicas de projeto.

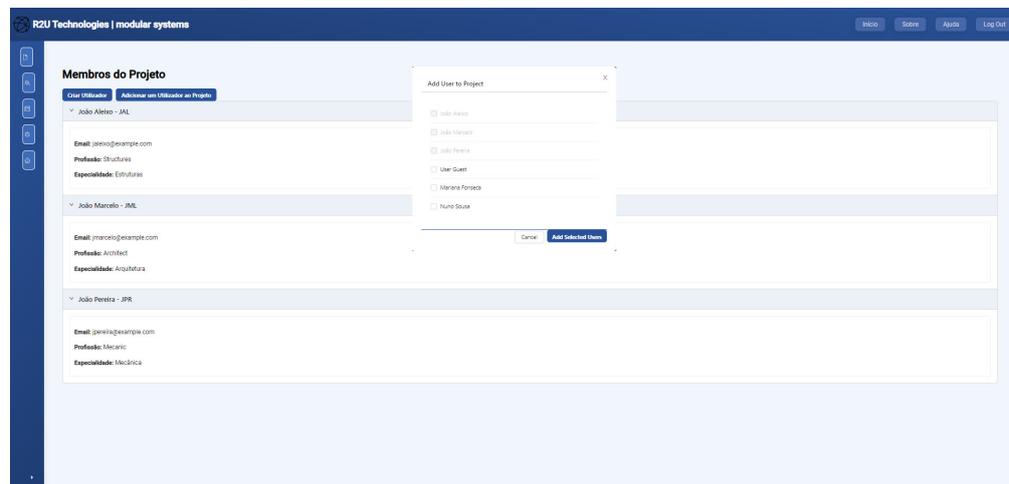
A Figura 6 apresenta os menus que permitem aos utilizadores gerir e definir o dicionário semântico do projeto.

**Figura 6**  
Especificação da  
informação de projeto.



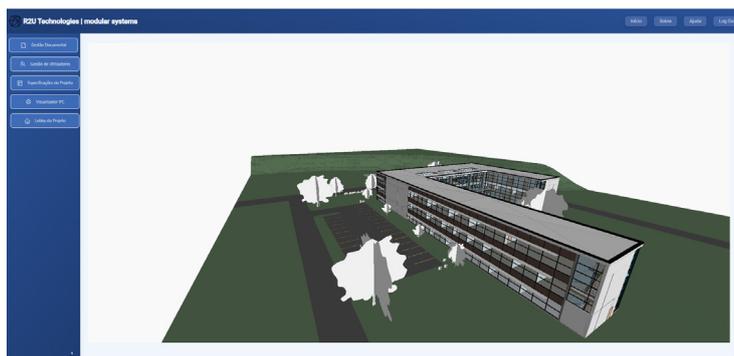
Além destes aspetos, foi desenvolvida uma página para a gestão de membros do projeto no CDE, conforme se apresenta na Figura 7. Este é um aspeto que também está contemplado, e permite aos gestores de um projeto adicionar novos intervenientes no âmbito de um determinado projeto, desde que estes estejam registados na plataforma.

**Figura 7**  
Página de gestão de  
utilizadores de projeto.



Estas são as principais áreas de trabalho desenvolvidas no âmbito do Ambiente Comum de Dados, com potencial de ser uma ferramenta aberta para a indústria. Além destas áreas, existem outros processos que ajudam a garantir o correto funcionamento do CDE. Estes ambientes constituem a aplicação prática das soluções desenvolvidas para dar resposta aos requisitos definidos para o CDE, e tem em vista a integração dos diferentes processos inerentes aos projetos da construção civil.

Como complemento às funcionalidade de gestão documental e de utilizadores, foi implementado um visualizador de modelos IFC, como se pode verificar na Figura 8. É nesta página que os utilizadores podem consultar os modelos disponíveis no CDE e exercer, numa plataforma central, os diferentes exercícios de coordenação e colaboração entre especialidades.



**Figura 8**  
Visualizador de  
modelos IFC.

## 5. Conclusões e desenvolvimentos futuros

Com este artigo, demonstrou-se a conceptualização e os processos de desenvolvimento de um CDE que permite concentrar num ambiente de trabalho central, os vários processos inerentes à gestão de informação de projetos da construção, em conformidade com os requisitos operacionais estabelecidos pela ISO 19650 e orientado para o âmbito operacional das PME's em Portugal. Ao longo do processo de desenvolvimento, o contacto com as diferentes tecnologias que compõem o CDE permitiu expandir horizontes ao nível do desenvolvimento informático, útil para o desenvolvimento de novas soluções que contribuam para a digitalização do setor AECO. Além disto, o contacto com tecnologias emergentes no âmbito do BIM aberto permitiu adquirir novos conhecimentos, essenciais para tornar o CDE numa ferramenta mais eficiente ao nível dos exercícios de colaboração e coordenação. Os desenvolvimentos futuros desta plataforma passam pela constante atualização da ferramenta, à medida que novas práticas e procedimentos forem adquiridos, assim como a introdução de novas funcionalidades e tecnologias que permitam dotar o CDE desenvolvido de capacidades mais evoluídas. A integração de ferramentas mais avançadas de visualização e colaboração através de modelos BIM e das APIs abertas desenvolvidas pela buildingSMART são alguns dos pontos de avanço pelos quais o CDE poderá seguir no seu desenvolvimento. Estas capacidades conferem um carácter mais transversal ao CDE, ao nível da sua operacionalização, e podem servir de catalisador para a sua adoção, por parte de várias PME's, em prol de soluções elementares de gestão documental muitas vezes utilizadas.

Em suma, a conceptualização deste CDE tornou-se num ponto de partida para a descoberta de novas tecnologias e ferramentas emergentes no âmbito da inovação digital para o setor AECO.

## Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo pacto de inovação R2U Technologies | Modular Systems, através do Sistema de Incentivos Agência para a Competitividade e Inovação – IAPMEI, I.P., financiado pelo Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), sobre o acordo de bolsa com a referência C644876810-00000019, atribuído ao

primeiro autor, no âmbito da unidade de investigação Centro para o Território, Ambiente e Construção (CTAC), reconhecida pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT). Este trabalho foi também parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE), sob a referência UIDB / 04029 / 2020 (doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020) e no âmbito do Associate Laboratory Advanced Production and Intelligent Systems ARISE, sob a referência LA/P/0112/2020.

## Referências

- [1] M. Reis Campos, «É preciso investir mais na construção de infraestruturas novas e na reabilitação e modernização das existentes», Engeobras, 12 de Maio de 2022. L. Santos, [Online]. Disponível em: <https://www.engeobras.pt/Artigos/387004-E-preciso-investir-mais-na-construcao-infraestruturas-novas-na-reabilitacao-modernizacao.html>.
- [2] J. Radl e J. Kaiser, «Benefits of Implementation of Common Data Environment (CDE) into Construction Projects», em IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Institute of Physics Publishing, Fev. 2019. doi: 10.1088/1757-899X/471/2/022021.
- [3] European Investment Bank e COTEC Portugal, «The digitalisation of small and medium-sized enterprises in Portugal Models for financing digital projects The digitalisation of small and medium-sized enterprises in Portugal Models for financing digital projects Summary Report Prepared for: COTEC Portugal and the European Investment Advisory Hub», 2022.
- [4] P. Li, S. Zheng, H. Si, e K. Xu, «Critical Challenges for BIM Adoption in Small and Medium-Sized Enterprises: Evidence from China», Advances in Civil Engineering, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/9482350.
- [5] K. Jaskula, D. Kifokeris, E. Papadonikolaki, e D. Rovas, «Common data environments in construction: state-of-the-art and challenges for practical implementation», Construction Innovation, 2024, doi: 10.1108/CI-04-2023. [6] C. Billiald, "openBIM: What is it and why do we need it?", buildingSMART International, 2023. [Online]. Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/openbim-what-is-it-and-why-do-we-need-it/>
- [6] C. Billiald, "openBIM: What is it and why do we need it?", buildingSMART International, 2023. [Online]. Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/openbim-what-is-it-and-why-do-we-need-it/>.
- [7] KPMG & Atkins, «Value of Information Management», London, 2021 [Online]. Disponível em: <https://kpmg.com/uk/en/home/insights/2021/06/the-value-of-information-management-in-the-construction-and-infr.html>.

- [8] buildingSMART USA, "Expanding openBIM Standards and Implementations with openCDE," [Online]. Disponível em: <https://www.buildingsmartusa.org/expanding-openbim-standards-and-implementations-with-opencde/>.
- [9] ISO 19650, "ISO 19650: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling," International Organization for Standardization (ISO), 2013.



# Uma data warehouse para o BIM – Tecnologia da informação aplicada a projetos de varejo

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.31>

**Déborah Paiva<sup>1</sup>, Jorge Almeida Junior<sup>2</sup>,  
Sérgio Ferreira<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo, São Paulo, ID 0000-0003-4703-6820

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo, São Paulo, ID 0000-0003-3839-4570

<sup>3</sup> Universidade de São Paulo, São Paulo, ID 0000-0003-2593-3424

## Resumo

Este estudo é fruto da experiência profissional como arquiteta coordenadora de implantação, para redes varejistas internacionais no Brasil. A análise do estado da arte revelou problemas na obtenção das informações necessárias, comprometendo a eficácia de muitas propostas em relação aos objetivos estratégicos do empreendimento. Além disso, observou-se a falta de colaboração entre os envolvidos na implantação, limitando-se muitas vezes a projetistas e, ocasionalmente, aos responsáveis pela manutenção dos ativos. A aplicação da tecnologia Building Information Modeling (BIM) em redes de lojas apresenta barreiras na captura e integração das informações necessárias para a elaboração dos Project Information Model (PIM) e do Asset Information Model (AIM). Os dados dos requisitos de projeto e manutenção, geralmente estão dispersos em diferentes departamentos e apresentam baixa qualidade. Nesse contexto, propõe-se o desenvolvimento de um processo de Extract Transformation and Loading (ETL), utilizando-se o programa Microsoft Power BI e adaptação de uma Data Warehouse (DW) ao ciclo de modelagem da construção. A intenção é criar uma plataforma colaborativa que atenda o processo completo da modelagem BIM para o varejo, visando melhorar a qualidade de dados e a tomada de decisões durante o ciclo de vida da loja.

## 1. Introdução

Atualmente, o acesso à informação referente à estratégia de negócio do proprietário de lojas, é o grande desafio na implantação da tecnologia BIM no setor varejista. Essa dispersão de informações é comentada no artigo onde o uso de sensores detecta uma infinidade de coisas conectadas que captura parte das informações contextuais em diferentes modelos de dados, o que as faz operar em silos [1]. Pesquisas sobre o valor comercial do BIM em Asset Management (AM) têm sido inadequadas, apesar de seu considerável potencial e importância na consecução dos objetivos organizacionais [2]. Os dados dos requisitos de projeto e manutenção, geralmente estão dispersos em diferentes departamentos e apresentam baixa qualidade.

É responsabilidade do arquiteto garantir que o projeto atenda às necessidades de todos os departamentos da operação varejista. O design da loja é, obviamente, uma questão comercial, e para isso, o arquiteto de interiores tem a tarefa de elaborar um projeto capaz de atender tanto às necessidades físicas quanto psicológicas dos funcionários e clientes da loja, além das expectativas comerciais do dono da loja [3].

O gerenciamento do ciclo de vida da modelagem da informação da construção do empreendimento varejista é um fator importante para a qualidade do projeto de loja. Como um processo de negócios baseado em BIM que impulsiona o valor dos negócios para o proprietário do ativo, o gerenciamento do ciclo de vida envolve o uso organizacional de BIM em todas as fases sucessivas, desde o início até disposição [2]. Isso implica na implementação em todos os estágios de desenvolvimento de ativos, integração de dados, padronização de processos, capacidade tecnológica e inclusão humana [2].

Existem diversos softwares classificados pela norma internacional ISO 19650 como Ambiente Comum de Dados (CDE), que permitem a centralização da informação da construção, de forma organizada em plataforma única. Essas aplicações têm foco primordial em validação, automatizando o fluxo de projetos [4]. A pesquisa tem como objetivo a extração e o tratamento da qualidade dos dados, não abordando os processos de automação.

Assim como o CDE, o Data Warehouse (DW) é um banco de dados utilizado como recurso de alinhamento estratégico entre os dados coletados nos departamentos das empresas e os objetivos do negócio. Faz parte da arquitetura do sistema DW, a carga de dados proveniente do processo Extract Transforming and Loading (ETL) [5].

Neste contexto, a pesquisa delinea um processo ETL em um DW, acessível tanto pelo lojista quanto pelos projetistas, proporcionando a colaboração essencial ao BIM. Em determinados estudos, os autores sugerem a utilização dos painéis do Power BI para simplificar o acesso e a exibição de dados incorporados durante do ciclo de vida do empreendimento [6]. Além disso, propõe a utilização da interface de consultas do Power BI para o processo ETL voltada ao BIM [7].

A implementação de um DW como plataforma comum de dados é de suma importância não apenas para a gestão dos ativos, mas também para consolidar a padronização do projeto e estabelecer o processo BIM em sua totalidade. Compartilhar as informações entre os envolvidos por meio de um DW possibilita a criação de um meio ambiente colaborativo, resultando na redução de riscos e na promoção da sustentabilidade nos negócios das redes varejistas.

No entanto, todos os dados provenientes associados aos ativos de loja devem ser integrados prioritariamente aos modelos Project Information Model (PIM) e Asset Information Model (AIM). Estes modelos de informações consistem em bancos de dados hospedados no DW e são alimentados pelo processo ETL ao longo de todo o ciclo de vida da modelagem BIM. Conforme os dados acessíveis no DW, devem ser atualizados de forma contínua durante as fases de operação e manutenção da loja [4]. Essa abordagem, possibilita a elaboração de um projeto com maior precisão, embasado em dados reais oriundos da utilização dos ativos construídos.

### 1.1. Análise e debate dos resultados

A análise é fundamentada em artigos científicos que abordam a aplicação da Business Intelligence (BI), nos processos BIM e a conformidade com a ISO 19650. O objetivo é alinhar o campo da pesquisa ao contexto da aplicação da ciência de dados à modelagem da informação da construção.

### 1.2. A Business Intelligence aplicada ao ciclo de vida do modelo BIM

Assim como nos processos BIM, a Business Intelligence (BI) é uma tecnologia que se baseia no ciclo de vida do negócio. Esta abordagem holística já era estudada na década de 90 no método Kimball Lifecycle que descreve o Ciclo de Vida Dimensional do Negócio, um princípio fundamental para o sucesso do DW. O gerenciamento adequado do processo BIM deve estar alinhado ao ciclo de vida do negócio, conforme definido normativamente[4].

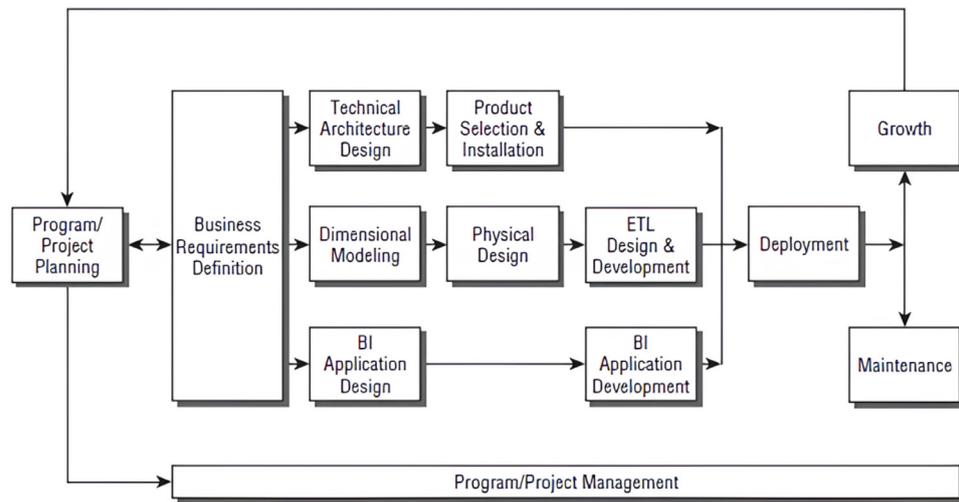
O uso eficaz do BIM demanda praticamente todos os aspetos do negócio de uma empresa, não apenas fazendo as mesmas coisas de uma nova maneira. Isso requer a compreensão da tecnologia BIM e processos relacionados, além de um plano de implementação antes que a transição possa ser iniciada [8].

Todas as informações relevantes sobre objetos da construção devem estar associadas aos modelos PIM (Modelo de Informações de Projeto) e AIM (Modelo de Informações do Ativo)[4]. O modelo BIM utilizado pelo proprietário é essencial para registrar os espaços e ativos incorporados ao edifício ou outras instalações [8]. Esse modelo é usado para localização, propriedade e acesso a informações do produto, como garantias e depreciação, visando apoiar os processos de manutenção e movimentação de pessoal.

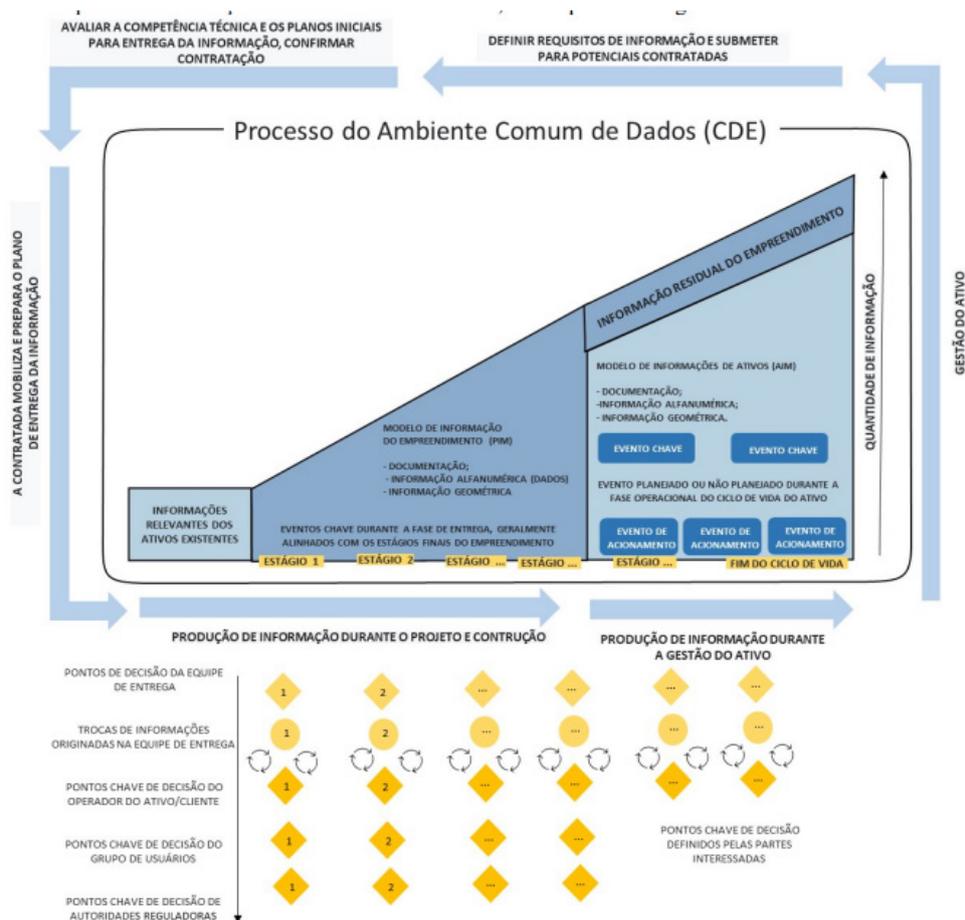
É fundamental acompanhar as informações do projeto, pois elas representam o "cartão de visita" do modelo. As informações do projeto englobam dados relacionados à organização, ao endereço do projeto e à data de entrega, entre outros aspectos [9]. A norma ISO 19650 estabelece a integração dessas informações em uma plataforma única, baseando em quatro princípios: fornecimento das informações necessárias para tomada de decisões ao longo do projeto; revisão gradual de especificações apoiadas nos requisitos de projeto; suporte à incorporação de informações provenientes de cadeia de abastecimento; e estabelecimento de controle e coordenações rigorosas no ambiente de dados para garantir a integridade das informações [4].

A utilização do sistema DW/BI deve dar suporte a todas as etapas da modelagem da construção, conforme indicado na figura 1 que ilustra o ciclo de vida do método Kimball [5].

**Figura 1**  
Diagrama de Ciclo de Vida Kimball. Fonte: [5].



A figura 2 ilustra o ciclo de vida da modelagem BIM, onde os losangos vermelhos representam marcos decisórios na validação do projeto ou informação por parte do envolvido responsável. Figura 2 Visão Geral e Ilustração do Processo de Gestão de Informações. Fonte: [4]. Esse suporte pode ser implementado no processo de modelagem, transformando o DW em um Ambiente Comum de Dados (CDE) como descrito no item 3.2.



**Figura 2**  
Visão Geral e Ilustração do Processo de Gestão de Informações.  
Fonte: [4].

### 1.3. O DW como plataforma central das informações

Esta pesquisa propõe que o DW seja a base de dados confiáveis necessária para atender à complexidade do processo BIM. O DW irá armazenar dados integrados provenientes de diferentes partes envolvidas na modelagem de uma construção ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento comercial[4]. É fundamental que o acesso seja disponibilizado aos envolvidos durante todo o ciclo de vida do ativo, permitindo que as informações sejam acessadas por aqueles que necessitam delas para desempenhar as suas funções.

O acesso às informações do empreendimento não deve ser , apenas no projeto, mas também estendido a parceiros externos que embora, não façam parte do projeto, possam contribuir na produção de dados a serem integrados aos modelos BIM [5] [10][11]. É amplamente reconhecido que uma plataforma de dados comum pode ser uma solução eficaz, uma vez que reúne todas as informações e serve como uma ferramenta central de gerenciamento de dados.

Além de objetos tridimensionais PIM e AIM, podem ser integrados no DW, especificações técnicas, certificados de garantia e até mesmo informações provenientes da avaliação de amostras físicas de materiais de construção.

## 2. Objetivo

O objetivo principal desta pesquisa, é estabelecer um processo abrangente de ETL em um DW, fornecendo uma plataforma centralizada para os participantes na cadeia produtiva de lojas. Essa plataforma permitirá a integração, visualização e gestão de informações de modelos BIM para projetos, operações e manutenção. Propõe-se a utilização do software Power BI, como ferramenta para o processo ETL.

O processo de integração de dados seguirá as diretrizes sugeridas pela norma ISO 19650, que incluem a formatação de documentos de apoio ao projeto, modelos paramétricos dos componentes construtivos e de equipamentos de loja [4]. Com a consecução desses objetivos, espera-se a melhoria de processos de projeto, garantindo o fluxo adequado de informações consolidadas relacionadas a requisitos, legislação, ativos, solicitações e todos os elementos necessários para o desenvolvimento do projeto das lojas em tecnologia BIM. A confirmação e validação serão obtidas pela avaliação contínua de processos de projeto e de qualidade de informações extraídas.

### 2.1. Modelo Dimensional de Dados (DM)

A técnica da modelagem dimensional foi aplicada para resolver questões relacionadas à estratégia do negócio varejista, incluindo a elaboração de projetos, operação e manutenção de lojas. Nesse contexto, para a extração de informações para o DW, a estruturação seguiu a o conceito de modelagem em tabelas dimensão e fato.

Uma tabela de fatos é a peça central em um modelo dimensional, onde as medições numéricas de desempenho do negócio são armazenadas [3]. Embora o conceito de modelo dimensional, defina os principais dados das tabelas fato como numéricos, existem situações, como proposta nesta pesquisa, em que esses dados podem ser de natureza textual ou codificadas. Assim a adaptação das tabelas fato foi realizada com base nos processos BIM de projeto, conforme ilustrado na figura abaixo:

**Figura 3**  
Exemplo de tabelas  
Fato e Dimensão (1).

Daily Sales Fact Table	Product Dimension Table
Date Key (FK)	Product Key (PK)
Product Key (FK)	Product Description
Store Key (FK)	SKU Number (Natural Key)
Quantity Sold	Brand Description
Dollar Sales Amount	Category Description
	Department Description
	Package Type Description
	Package Size
	Fat Content Description
	Diet Type Description
	Weight
	Weight Units of Measure
	Storage Type
	Shelf Life Type
	Shelf Width
	Shelf Height
	Shelf Depth
	... and many more

Tabela 1: Fato

<b>Projeto de Loja</b>
Acabamentos
Mobiliário
Iluminação
Área mínima
Altura mínima

Tabela 2: Dimensão

<b>Área de vendas de bolsas</b>
Especificação de acabamentos
Tipo de Mobiliário
Área por produto
Circulação
Área do ambiente
Altura do ambiente

As tabelas de dimensão estão diretamente ligadas à tabela de fatos, definindo a granularidade dos dados conforme o número de linhas, o que pode ser adaptado ao conceito de nível de detalhe (LOD) do modelo BIM. Em outras palavras, à medida que o estágio do projeto avança, aumenta o número de linhas das tabelas dimensão. No exemplo proposto, realizamos uma análise dimensional dos requisitos necessários para um determinado ambiente de projeto de loja específica.

## 2.2. Matriz de barramento

Os processos da modelagem BIM, quando traduzidos para modelagem dimensional, visam responder perguntas relacionadas ao plano de necessidades e estratégia do negócio do lojista. Abaixo, estão listadas algumas destas perguntas:

- Verificar a relação de objetos BIM por ambiente da loja;
- Verificar a lista de mercadorias por mobiliário;
- Verificar a mercadoria mais vendida por loja;
- Avaliar a localização da loja e a distância dos principais concorrentes;
- Verificar a lista de acabamentos por ambiente de loja;
- Verificar a relação de informações e parâmetros necessários por componente BIM;
- Avaliar o resultado de simulação de cumprimento de normativos por disciplina;
- Avaliar o programa de necessidades relacionado com o projeto;
- Avaliar a relação de público-alvo e localização da loja.

A partir da seleção de uma dessas perguntas, foi criada uma amostra de matriz de barramento, na qual foram estabelecidas as relações entre as tabelas de fato e de dimensão.

Tabela 3: Matriz de Barramento Proposta

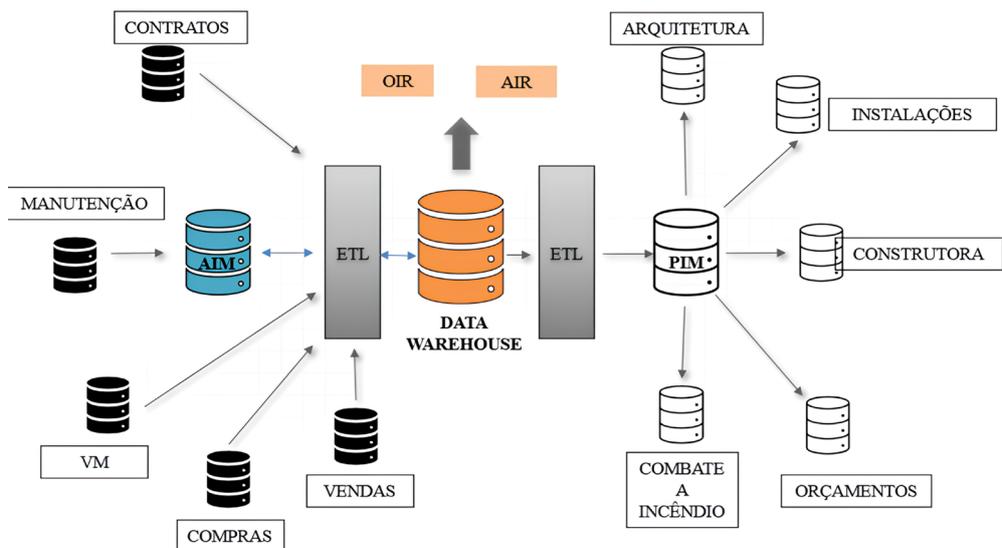
Fato / Dimensão	Ambiente	Mobiliário	Loja	Concorrência	Parâmetro	Disciplina	Projeto	Local
Objeto BIM	X							
Produto		X						
Produto principal			X					
Local Loja				X				
Acabamento	X							
Informação					X			
Normativa						X		
Necessidades							X	
Público-alvo								X

### 2.3. Arquitetura do modelo dimensional proposto

A partir do modelo de negócio da implantação de loja, foi desenvolvida a arquitetura do sistema de armazenamento e fluxo de informações, conforme a figura 5. Neste esquema, os principais bancos de dados são os modelos BIM. No lado esquerdo, encontra-se o AIM, que recebe as informações a partir da gestão e utilização dos ativos construídos da loja. Essas informações podem ser integradas diretamente ao modelo BIM, após o processo ETL auxiliar, quando originada pelos departamentos da operadora de loja.

No lado direito da imagem, encontra-se o PIM, que recebe informações pertinentes as necessidades do lojista após o processo ETL ou diretamente integradas pelos relatórios Asset Information Requirements (AIR) e Project Information Requirements (PIR).

**Figura 4**  
Modelo dimensional proposto pela autora.



### 3. Conclusão

A utilização do processo ETL e a integração das informações estruturadas em um DW mostrou ser uma abordagem correta para o tratamento de dados utilizados no processo BIM. Observando-se o ciclo de vida do empreendimento, nota-se que o início do processo de projeto, pode ser baseado no modelo de ativos AIM, onde toda a informação proveniente da operação e manutenção é integrada. Essa ressalta a importância do AIM como banco de dados primário para execução de um novo projeto ou PIM.

Além disso, a disponibilização o acesso ao DW, para vários participantes ao longo do ciclo do empreendimento da loja, possibilitou controlar colaborativamente a qualidade desses dados. Dessa forma, o processo ETL tornou-se um meio eficaz a ser utilizado em conjunto com a modelagem de dados da construção.

### 4. Referências

- [1] C. El Kaed, B. Leida, e T. Gray, “Building Management Insights Driven by a Multi-System Semantic Representation Approach”. [Online]. Disponível em: <http://protege.stanford.edu>
- [2] M. Munir, A. Kiviniemi, S. W. Jones, e S. Finnegan, “The business value of BIM for asset owners: a cross-case analysis”, *Journal of Facilities Management*, vol. 18, n.º 5, pp. 469-486, out. 2020, doi: 10.1108/JFM-06-2020-0037.
- [3] S. Selhan, Y. Usal, A. Nilay Evcil, e A. N. Evcil, “Universal Design in Interior Architecture Education: The Case of Store Design”, *ICONARP International Journal of Architecture & Planning Received*, vol. 7, n.º 2, pp. 410-427, 2019, doi: 10.15320/ICONARP.2019.92-E-ISSN.
- [4] ISO 19650-1: 2018 “Organization of information about construction works Information management using building information Modelling – Concepts and principles”, International Organization for Standardization (ISO), 2018”.
- [5] Ralph Kimball e Margy Ross, *The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Modeling*, 2.º 2002.
- [6] Y. Kadcha, D. Legmouz, e R. Hajji, “an integrated BIM-power bi approach for data extraction and visualization”, em *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives*, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, out. 2022, pp. 67-73. doi: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W4-2022-67-2022.
- [7] L. C. Boechat, “Augmented BIM workflow for structural design through data visualization”.

- [8] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Hoboken, NJ.: Wiley, 2008.
- [9] E. Pellegrino with Manuel André Bottiglieri, G. Crump, L. Cypriano Pieper, e D. Touil, *Managing and Visualizing Your BIM Data*. 2021. [Online]. Disponível em: [www.packt.com](http://www.packt.com)
- [10] M. Stransky, “Functions of common data environment supporting procurement of subcontractors”, em *Engineering for Rural Development*, Latvia University of Life Sciences and Technologies, 2020, pp. 793-799. doi: 10.22616/ER-Dev.2020.19.TF186.
- [11] A. Borrmann, C. Preidel, C. Oberender, e M. Tretheway, “Seamless Integration of Common Data Environment Access into BIM Authoring Applications: the BIM Integration Framework”, *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*, pp. 119-128, 2017.

# **Parte III – Levantamento e gestão do ambiente construído**



# Maior mapa digital 3D dos sistemas de água e águas residuárias do Brasil

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.32>

**Wagner Carvalho<sup>1</sup>, Joabe Araujo<sup>2</sup>,  
Rui Marques<sup>1</sup>, Nuno Almeida<sup>1</sup>, António Aguiar Costa<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Instituto Superior Técnico, wagner.carvalho@tecnico.ulisboa.pt, Lisboa, Portugal*

<sup>2</sup> *Zigurat Global Institute of Technology, joabearaujo@icloud.com, Barcelona, Espanha*

## Resumo

É crescente a importância da digitalização das informações durante o processo de registo dos ativos para impulsionar a gestão mais eficaz nas entidades de água e águas residuárias. Neste contexto a metodologia BIM (modelagem da informação na construção) é uma abordagem cada vez mais aplicada nas organizações intensivas de ativos, apoiando a criação de representações “virtuais” das instalações mesmo antes da sua existência física, e segue consolidando as informações gráficas e não gráficas à medida que o ambiente vai sendo construído. Este compartilhamento da representação digital durante as etapas do ciclo de vida da infraestrutura, entre as fases de projeto, obra e operação, está se tornando cada vez mais um forte aliado para a complexa gestão dos ativos urbanos da indústria da água. Este artigo explora a crescente importância da gestão eficiente de ativos no setor de saneamento, enfocando os novos recursos digitais para promover a sustentabilidade dos serviços no ciclo urbano da água [1]. Destacamos a relevância crucial dessa prática para empresas comprometidas com a qualidade de vida e a preservação ambiental, com ênfase na abordagem inovadora da Aegea, líder em saneamento básico no Brasil. Estes processos de digitalização e o BIM geram oportunidade para extrair mais valor dos ativos físicos com a construção de uma representação mais realística do ambiente construído, ou seja, orientam tomadas de decisões mais informadas que reduzem o risco de indisponibilidade dos serviços e melhoram os resultados operacionais.

## 1. Introdução

A introdução da digitalização tem gerado impactos significativos em diversos setores da sociedade, resultando em uma melhoria substancial da eficácia, transparência e qualidade dos serviços disponibilizados. Contudo, o segmento de água e águas residuárias ainda se depara com desafios consideráveis na integração das tecnologias digitais aos processos de gestão de seus ativos, visando assim agregar mais benefícios em suas operações.

O acesso amplo a água potável e aos serviços de águas residuárias ainda é um desafio em muitas regiões do globo, e está no Objetivo de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS-6 da ONU). O Banco Mundial lançou em 2016 a iniciativa PIR (Políticas, Instituições e Regulação) como uma estratégia para ajudar as nações a alcançarem a universalização e sustentabilidade destes serviços [2]. Soma-se ainda os desafios atuais de garantir a resiliência dos sistemas, aumentar a sustentabilidade dos serviços e abraçar a economia circular [3].

A metodologia BIM, Building Information Modeling (Modelagem da Informação da Construção), representa um processo digital inovador que desempenha um papel crucial na harmonização e integração de informações tanto gráficas quanto não gráficas no âmbito da indústria de infraestrutura. Essa abordagem não apenas otimiza a representação visual de projetos, mas também facilita a colaboração eficiente entre as diversas disciplinas envolvidas, promovendo uma gestão mais holística e eficaz ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos [4].

No atual contexto, onde a imperativa sustentabilidade dos recursos naturais e a responsabilidades sociais (ISO 26000, 2024) [5] se consolidam como prioridade, a gestão do ciclo urbano da água emerge como pedra angular a melhoria da qualidade de vida concomitante com a preservação do meio ambiente global. À medida que os desafios relacionados à água potável, tratamento de esgoto e conservação ambiental tornam-se cada vez mais intrincados, a administração cuidadosa e estratégica dos ativos revela-se um fator determinante, delineando o êxito ou insucesso das organizações na prestação destes serviços públicos essenciais para a população.

Assim, os processos de digitalização na gestão destes ativos desempenham um papel central para as entidades de água, sendo relevante não apenas para assegurar a entrega eficaz de serviços essenciais, mas também para trazer transparência e evidências dos investimentos [6].

No Brasil, após a aprovação do novo marco regulatório do setor com a Lei n.º 14.026 de 2020, foram estabelecidas metas de investimento para redução do déficit de cobertura de água e esgoto com o objetivo de universalização destes serviços à população brasileira até 2033 [7].

Neste novo cenário de expansão do setor no país, 28 leilões de Concessão e PPPs (Participação Público Privada) foram realizados de 2020 até 2023, que já somam mais de 98 bilhões de reais já comprometidos em investimentos contratados e outorgas para os próximos anos com os novos contratos estabelecidos para beneficiar cerca de 30 milhões de brasileiros.[8] Assim, algumas entidades têm percebido a relevância

das práticas de digitalização dos ativos (primeiramente dos ativos físicos legados) e da metodologia BIM, para que no ambiente comum de dados possam se tomar melhores decisões sobre a modernização e implantação de novas infraestruturas.

Este estudo explora as inovações e estratégias de gestão digitais adotadas pelo programa Infra Inteligente da Aegea, entidade líder no setor privado de saneamento no Brasil.

## 2. Infra inteligente

Criada em 2010, a empresa Aegea é líder no setor privado de saneamento básico no Brasil. Atualmente são mais de 31 milhões de pessoas atendidas em 505 cidades de 14 estados, de norte a sul do Brasil.

Ao analisar o programa Infra Inteligente, lançado em 2018 pela empresa, exploramos suas aplicações operacionais e a introdução de novos processos com tecnologias disruptivas baseados nas normas da ISO 55001 e na metodologia BIM (ISO 19650).

O Infra Inteligente busca a reestruturação dos processos de negócio, com o foco na transformação digital gradativa dos fluxos de trabalho relacionados à gestão do ciclo de vida de seus ativos (físicos, humanos, financeiros, intangíveis e informacionais). A metodologia foi estruturada nos processos de negócio da prestação dos serviços de água, e associa um conjunto de aplicativos interoperáveis com modelos virtuais precisos, visando o alinhamento estratégico entre negócio e operação.

O conhecimento das instalações operacionais é um grande desafio do setor de saneamento, e ao mesmo tempo é o requisito fundamental de informação necessário para as tomadas de decisões nos níveis estratégico, tático e operacional. Assim o programa inovou com a incorporação da digitalização no processo AIV, Asset Identification and Verification (Identificação e Verificação dos ativos) em plantas de saneamento.

Nos procedimentos de digitalização para a captura de realidade, novas práticas e tecnologias são agregadas as atividades de identificação individualizada dos ativos em campo, entre as quais o uso de drones para imageamento das instalações, aplicativos de formulários técnicos em telemóvel, gps de alta precisão e câmera 360. Os dados coletados em campo criam um registro único e com rastreabilidade sobre cada ativo, e as imagens são processadas em gabinete (laboratório) para geração de diversos produtos digitais. No nível da instalação localizada são gerados tour virtuais, malhas 3D, orthophotos, modelo digital de superfície e terreno, além do caderno digital contendo ficha técnica, informações sintéticas e analíticas de cada ativo da instalação.

O processo AIV constata e registra a existência de cada ativo, envolvendo a classificação da tipologia, rotulação com tag único, atribuição das características técnicas, e avaliação individualizada da condição de vida útil remanescente.

O Ambiente Comum de Dados (CDE – Common Data Environment) do programa integra os contêineres de informações dos ativos aos fluxos de trabalho da organização

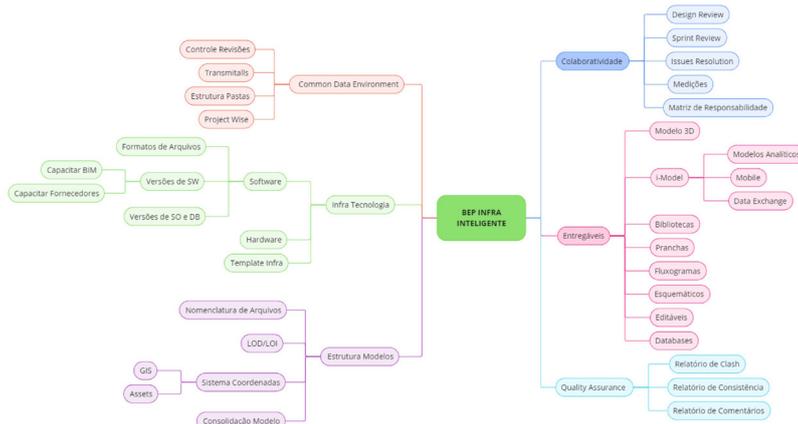
e gerenciamento da comunicação com as bases digitais gráficas, não gráficas e documentos associados [7].

A metodologia BIM é aplicada tanto para projetos de instalações novas (projeto greenfield) como na ampliação e reforma dos ativos legados (projeto brownfield). Sendo que no caso das instalações existentes todo o conteúdo digital AIV está automaticamente disponibilizado para o fluxo de modelagem BIM para os responsáveis do projeto.

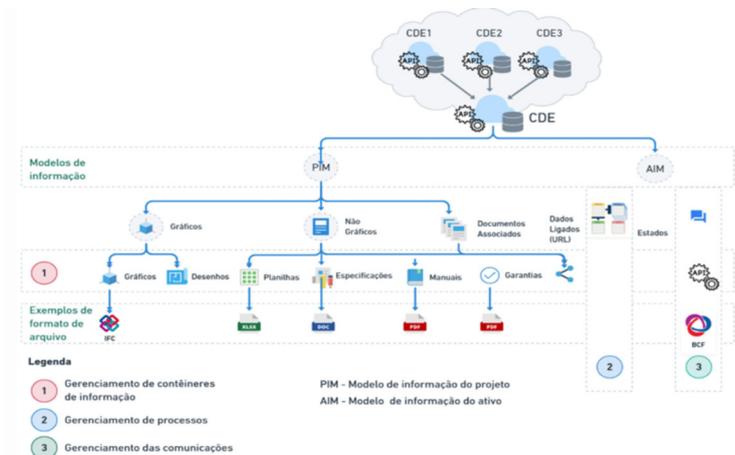
No plano de execução BIM (BEP - BIM Execution Plan) é compartilhado o modelo de dados do projeto (PDT – Project Data Template) integrado aos requisitos de informações da organização (OIR – Organization Information Requirements) e aos requisitos de informações dos ativos (AIR – Asset Information Requirements), que são os mesmos do processo AIV para digitalização do ativo legado (Figura 1).

Neste contexto BIM os projetos da entidade seguem o ciclo de desenvolvimento à medida que evoluem no nível de informação necessária (LIN - Level of Information Need) e que os testes de verificação da qualidade são executados, como exemplo a detecção de conflitos (clash detection) entre disciplinas.

**Figura 1**  
Plano de Execução BIM (BEP).



**Figura 2**  
Ambiente Comum de Dados (CDE). Fonte: ABNT. (Junho de 2022). PR 1015.



Como a entidade assume contratos de longo prazo, a qualidade do ativo construído se torna ainda mais importante para a garantia da adequada prestação dos serviços. Assim a metodologia BIM é aplicada ao longo do ciclo de vida do projeto a construção do empreendimento, e a entrega do ativo físico, abrangendo as dimensões 3D (modelo tridimensional federado das disciplinas), 4D (planejamento construtivo) e 5D (análise de custos) [9].

A gestão estruturada do ativo informacional orienta a tomada de decisão das áreas-chaves de desempenho da organização (KPA – Key Performance Area). A iniciativa tem como foco conhecer e compreender os ativos físicos, toda a infraestrutura de campo, que com informações mais detalhadas e confiáveis para as plataformas de simulação hidráulica orientam melhor a construção de cenários para tomadas de decisões em busca da maior eficiência operacional, e qualidade dos serviços.

O modelo digital construído a partir da digitalização das informações em campo cria representações das instalações e equipamentos existentes, e integrados às tecnologias de automação, proporcionam uma visão em tempo real das instalações de operação nos centros de controle operacional. É um ganho não só para a empresa, mas também para os clientes, pois resulta em maior disponibilidade dos serviços para a população.

## 2.1. Caso Rio de Janeiro

A digitalização em larga escala do programa Infra Inteligente foi realizada em 2021 no estado do Rio de Janeiro, considerado por especialistas como o maior projeto de inventário de ativos de infraestrutura de água do Brasil. A assinatura do novo contrato no Rio de Janeiro exigiu a realização de inventário de todos os ativos operacionais legados, abrangendo desde estações de tratamento de água e águas residuais, estações elevatórias, tanques e outras dezenas de ativos espalhados por 27 municípios.

No requisito contratual previa a identificação com tagueamento, classificação e verificação de todos os ativos operacionais, e a entrega do inventário final no prazo total de 130 dias para avaliação do regulador. O titular dos ativos nesta modalidade de contrato é o município, e o inventário de ativos é a base de evidência de investimentos para a remuneração tarifária.

Assim, a metodologia avançada de captura da realidade empregada neste extenso projeto foi refinada e aprimorada durante a fase de planejamento, ou seja, antes do início deste grande projeto de digitalização. Foram criadas etapas de validação da qualidade, precisão e confiabilidade de dados no processo AIV, tanto gráficos quanto não gráficos.

A grande quantidade de instalações e volume de ativos legados neste contrato superou mais de mil endereços, mobilizando um contingente de 70 profissionais em campo, 10 drones e outras dezenas de recursos tecnológicos como GPS de alta precisão e câmeras 360.

## 2.2. Enfrentando os desafios de levantamento de ativos em cada sítio em um cronograma apertado

Melhorar e modernizar os ativos de água é um desafio que exige o uso de tecnologias para capturar a condição atual, sua variabilidade e diversidade, substituindo esforços anteriormente manuais, por ações orientadas e mais estruturadas. Para estabelecer um ambiente de ativos virtuais, a empresa precisou adequar às realidades do setor de água, exigindo um esforço de captura e integração de bens espalhados pela cidade, sendo muitos destes ativos localizados em locais de difícil acesso. No Rio de Janeiro, a estimativa inicial de plantas era de pouco mais de 900 plantas, mas foram encontradas mais de 1.300, das quais 300 foram encontradas em áreas de baixa renda. Com mais de 29 mil ativos físicos em 1.317 plantas industriais, o tamanho do projeto envolveu a coordenação de quase uma centena de especialistas multidisciplinares em meio a um cronograma apertado para concluir os 211 mil trabalhos de levantamento e modelagem digital 3D no Rio de Janeiro [10].

Somando-se à complexidade do projeto estava a topologia da cidade. O Rio de Janeiro possui topografia sinuosa com montanhas e rochas, o que dificulta o levantamento de instalações e bens. Além disso, como as tubulações de abastecimento estão no ponto baixo e muitas comunidades localizadas no ponto alto, é necessária energia hidráulica de bombeamento por milhares de quilômetros de tubulação até o cliente final. Neste contexto, a visão estratégica da organização foi utilizar estes dados e informações topográficas precisas dos ativos digitalizados para modelar gêmeos digitais dos sistemas de abastecimento com integração dos milhares de dados para apoiar a tomada de decisão com simulações de cenários hidráulicos reais.

Os investimentos necessários para universalizar os serviços de água e águas residuárias ao longo do contrato é de 24,4 bilhões de reais [11], assim a digitalização dos ativos está sendo tratado como um verdadeiro diagnóstico da “saúde” do sistema legado e como base de referência para modelagem de projetos seguindo a metodologia BIM.

Para estabelecer oportunamente seu mapa digital 3D, a Aegea utilizou aplicativos de modelagem flexíveis e integrados para acomodar dados de múltiplas fontes e, ao mesmo tempo, facilitar a colaboração e a acessibilidade em diversas disciplinas de engenharia.

## 2.3. Aplicação de drones e tecnologia de processamento para geração do mapa digital 3d

Usando tecnologias de captura de realidade e as aplicações de modelagem BIM da Bentley, processou-se imagens de alta resolução capturadas por drones para gerar malhas 3D realistas e mapas digitais de todas as instalações e ativos. Neste projeto, um conjunto de 10 drones sobrevoaram mais de 1.300 plantas (instalações), resultando em um total de 156 mil fotos que foram processadas no software ContextCapture da Bentley Systems. Os arquivos digitais de malha 3D, orthophotos e modelos digitais de superfície (MDS) de cada uma das plantas (instalações) seguiu o fluxo de

validação e codificação no ambiente comum de dados (CDE), e o link de acesso foi compartilhado no PowerBI com as informações estruturadas.

#### 2.4. Digitalização otimiza disponibilidade, confiabilidade e sustentabilidade de serviços

Operando em um ambiente digital integrado, o inventário do sistema de água e águas residuais do Rio de Janeiro envolveu a identificação de quase 30 mil ativos operacionais, e preenchimento de mais de 11 milhões de atributos técnicos, seguindo os processos e requisitos informacionais da organização (OIR – Organization Information Requirements).

O volume dos arquivos compartilhados no ambiente comum de dados (CDE) atingiu quatro terabytes de dados de captura da realidade, caracterizados por alta resolução e geolocalização precisa. O resultado foi um mapa 3D que representa mais de mil instalações de saneamento. A figura 3 apresenta um exemplo de um componente da tipologia “motor” e seus respectivos atributos coletados – informações requeridas dos ativos (AIR – Asset Information Requirements). O mapa digital é interativo e constantemente atualizado com base na interoperabilidade das aplicações dos operadores, otimizando fluxos de dados enquanto garante que todos os dados dos ativos estejam sempre atuais e acessíveis para uma gestão inteligente da infraestrutura. Desta forma, é possível acessar informações do desempenho de cada sistema, cada equipamento instalado em cada entidade operada no país, facilitando a tomada de decisões e, conseqüentemente, garantindo que a população receba os serviços essenciais da empresa. Por meio da aplicação do Infra Inteligente e da criação de gêmeos digitais em um ambiente de realidade virtual, temos percepções e informações em tempo real sobre ativos e plantas para monitorar a saúde da operação dos equipamentos, prevenindo danos a pontos críticos do sistema e permitindo a gestão digital do ciclo de vida dos ativos de água.

A medida que novas instalações e ativos seguem sendo implantados seguindo os processos de codificação e estruturação de ativos no plano de execução BIM da organização, segue-se para a fase de entrega da instalação para a operação. Nesta etapa todos os processos de digitalização AIV são aplicados para incorporar estes novos ativos a base de dados da operação do sistema (ambiente construído).

**Figura 3**  
Atributos componentes  
– Programa Infra  
Inteligente.

Início > Digitação de Atributos em Lote > Atributos do elemento: MAN-10244

FILTROS Classificação: Todos Status: Todos Atributos: 43 itens

1	Altura Máxima	1000m
2	Carcaça	250/M
3	Caegoria	N
4	Corrente de partida	7,3
5	Corrente nominal	352/204/176
6	Data de fabricação	28/04/2010
7	Diâmetro nominal eixo	280mm
8	Elevação da temperatura máxima	40°C
9	Existem Pés de Sustentação? (SIM/Não)	Sim
10	Fabricante	WEG
11	Fator de Potência	0,86
12	Fator de Serviço	1,15
13	Fora do Corpo	280/M
14	Frequencia Nominal	60Hz
15	Grau de Isolação	F
16	Grau de Proteção	IPW55
17	Mancais lado acoplada	6316-c3
18	Mancais lado oposto acoplada	6316-c3
19	Material da carcaça	Ferro Fundido
20	Material do eixo	Ferro Fundido
21	Modelo	W22 Plus
22	Número de Fases	3
23	Número de polos	4
24	Número de série do Fabricante	1006774187
25	Peso da massa	731 Kg
26	Potência Nominal	110 KW
27	Regime de funcionamento	S1
28	Rendimento	95,20%
29	Rotação	1785rpm
30	Tempo entre lubrificação	10000h
31	Tensão nominal	220/380/440V
32	Tipo	Motor de Indução
33	Tipo de Flange	FC-355
34	Tipo de corrente	Altermada
35	Tipo de lubrificação dos mancais	Pollirex-em-esso
36	Unidade de Potência	W-Watts



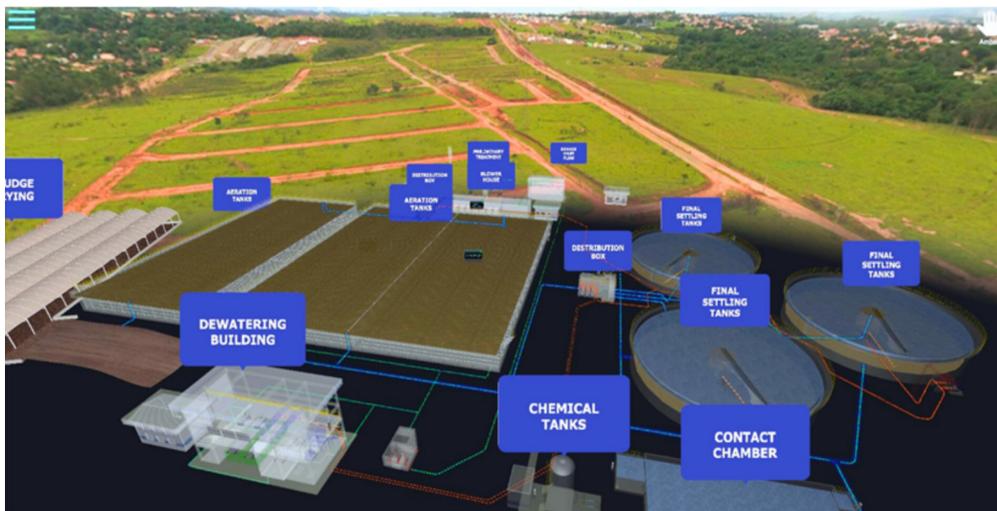
## 2.5. Gêmeos digitais e a realidade virtual

Diante destas recentes evoluções tecnológicas a IWA (International Water Association) lançou em 2021 a publicação Digital Water (IWA – Digital Water Programme, 2022) com foco em apoiar e orientar a operação através do desenvolvimento de modelos baseados em gêmeos digitais (digital twins) para o setor da água urbana [12].

O programa integrou o modelo digital de algumas instalações com os atributos capturados em tempo real e históricos para desenvolver o mapa de ativos em 3D e os gêmeos digitais. Essa abordagem proporciona percepções mais simples e cognitivas com uma confiabilidade superior nas informações, orientando o melhor ponto de desempenho operacional dos sistemas, como mostrado na figura 4.

Os modelos digitais processados por imagens geradas por drones, somado às informações de cadastros técnicos, “as built” das instalações, dados de inspeção completa e minuciosa de cada ativo, gera-se um modelo digital 3D. Este modelo é integrado na plataforma Unity, e o software aplicado pela entidade (XRProj) permite a imersão em um ambiente de realidade virtual com acesso de multiplas plataformas e multiusuários.

O modelo é vinculado com os sensores dos equipamentos que enviam informações em tempo real para o modelo virtual, promovendo uma verdadeira visita virtual para o operador, que identifica possíveis problemas ou oportunidades de melhorar o processo, sem que para isso necessite se deslocar até o local.

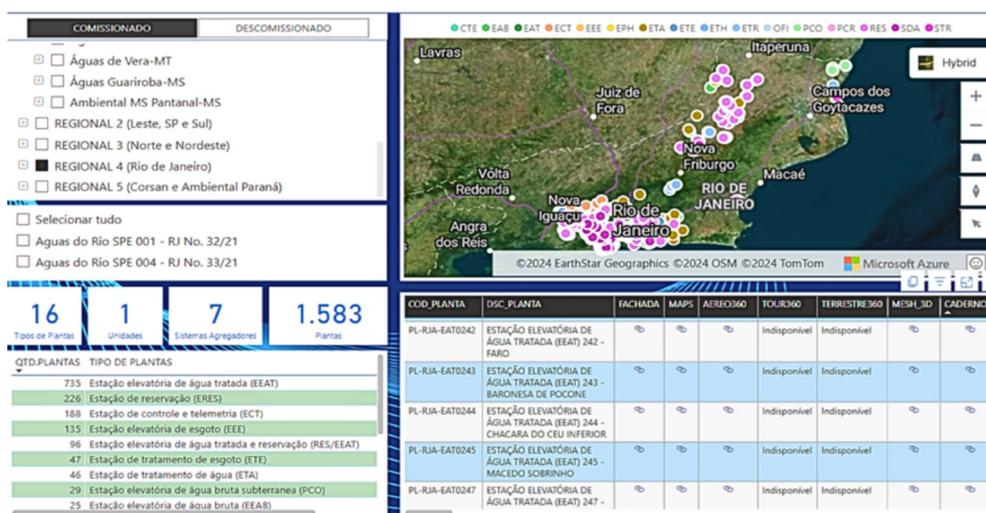


**Figura 4**  
Gêmeo digital – Estação de Tratamento de Esgoto.

### 3. Resultados

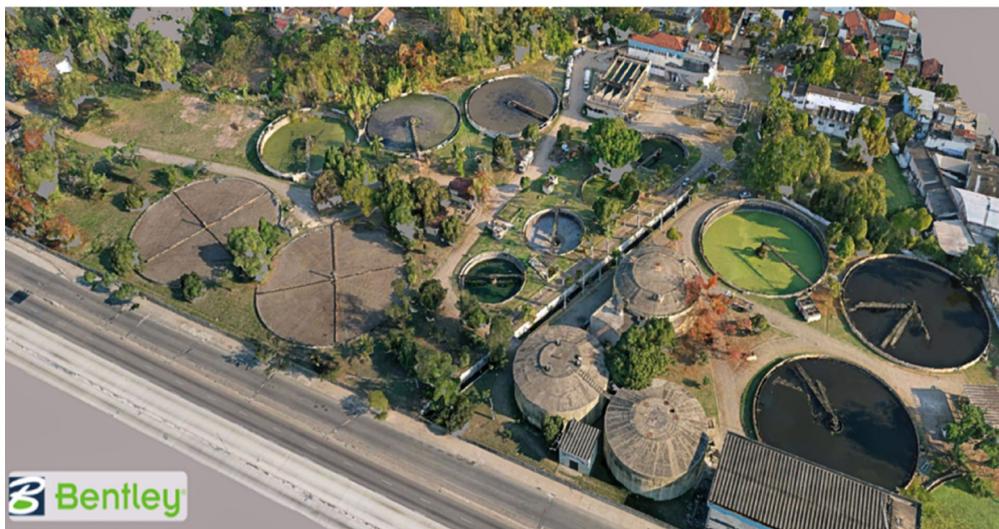
O processo de digitalização no Rio de Janeiro demandou a integração de quatro terabytes de dados ao banco de dados da organização, resultado do mapeamento de 29.000 ativos físicos, processamento de mais de 156.000 fotos e criação de 1.300 modelos digitais de plantas (instalações de água e águas residuais).

As informações digitais a cerca dos ativos são atualizadas quatro vezes ao dia na base de dados (Oracle Spatial), e uma das visualizações é o PowerBI com as informações estruturadas de forma espacial, gráfica e tabular como: árvore de ativos, novos, movimentações, atributos técnicos e etc (Figura 5).



**Figura 5**  
Painel Dashboard Infra Inteligente.

**Figura 6**  
Modelo 3D Estação de  
Tratamento de Esgoto.



## 4. Conclusão

Apesar da notável diversidade de tipologias e da extensa distribuição espacial dos ativos físicos que compõem os sistemas do ciclo urbano da água e águas residuais de uma grande cidade, os procedimentos de digitalização AIV integrados ao BIM revelaram-se ágeis e aderentes para uma melhor gestão de ativos no ciclo de vida, e principalmente maior transparência dos investimentos para a sociedade.

A digitalização para maior conhecimento do ativo físico permanece como um desafio significativo para os profissionais do setor, predominantemente devido aos elevados requisitos de atribuição técnica, cultura das organizações e da natureza dinâmica da manutenção dos equipamentos. Isso justifica cada vez mais o empenho das entidades em implementar processos que aprimorem a maturidade na gestão de ativos e integrem esses processos a uma base informacional digital e unificada.

## Referências

- [1] Alegre, H., Hein, A., Gormley-Gallagher, A., Nottarp-Heim, D., & Merkel, W. (2015). Transition to Sustainable Urban Water Services of Tomorrow: A handbook for policy makers. European Union Seventh Framework Programme.
- [2] World Bank Group. (2022). Water Supply and Sanitation – Policies, Institutions and Regulation. Washington, DC: GWSP.
- [3] Marques, R.C (2005). Regulação de Serviços Públicos (R.C. Marques, Ed. Sílabo). <https://silabo.br>.
- [4] Jelodar, M., Wilkinson, S., Kalatehjari, R., Zou, Y. (2021). Designing for construction procurement: an integrated Decision Support System for Building Information Modelling. Fonte: Built Environment Project and Asset Management, Vol. 12 No. 1, 2022, pp. 111-127, Emerald Publishing Limited 2044124X: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/BEPAM-07-2020-0132/full/html>

- [5] ISO 26000. (02 de 01 de 2024). ISO 26000 – Social responsibility. Fonte: ISO (International Organization for Standardization): <https://www.iso.org/iso-26000-social-responsibility.html>
- [6] IAM. (2022). Fonte: The Institute of Asset Management: <https://theiam.org/>
- [7] LEBEIS, F. D. (2021). Universalização dos serviços de água e esgoto à população brasileira: desafios do novo marco regulatório do saneamento básico. Escola de políticas públicas e governo - FGV.
- [8] Abcon Sindcon (2023). Panorama da Participação Privada no Saneamento. Capítulo 5 – Os Últimos Três Anos, pág. 33 a 37. <https://abconsindcon.com.br/panorama/>
- [9] ABNT. (Junho de 2022). PR 1015. Prática Recomendada: Ambiente Comum de Dados (CDE)/ Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: ABNT.
- [10] Aegea, P. I. (2021). Relatório de Identificação e Verificação de Ativos.
- [11] Carvalho, W. O. (2020). BIM and AM to Manage Critical and Relevant Water. Em Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (pp.697-720). Springer – [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-51295-8\\_49](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-51295-8_49).
- [12] IWA –1 Digital Water Programme. (2022). A Strategic Digital Transformation for the Water Industry. In A Strategic Digital Transformation for the Water Industry. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781789063400>



# Digital Twin e a necessidade de uma framework integradora para a gestão do ambiente construído

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.33>

Rodrigo Pedral Sampaio<sup>1</sup>,  
António Aguiar Costa<sup>1</sup>, Inês Flores-Colen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability (CERIS),  
DECivil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa,  
Av. Rovisco Pais, 1 1049-001, Lisboa, Portugal*

## Resumo

A tecnologia de *Digital Twin* (DT) tem vindo a ganhar popularidade no setor do ambiente construído devido aos seus usos potenciais. Este artigo explora a aplicação do conceito de DT para impulsionar uma Era de eficiência no *Facility Management* (FM), com ênfase em uma estrutura conceitual para sua implementação. Várias perguntas surgem quando criamos um DT aplicado ao FM, nomeadamente: Como devemos estruturar o modelo de DT? Que informações devemos ser capazes de visualizar? Como o modelo de DT deve interagir com o usuário? Estas são algumas das perguntas para as quais ainda precisamos de uma resposta consistente. Foi utilizada uma abordagem de métodos mistos que combinou uma revisão da literatura com estudos de caso detalhados para entender melhor o estado atual das aplicações de DT no setor do ambiente construído. Este estudo apresenta uma estrutura conceitual pormenorizada para o uso estratégico do DT aplicada ao ambiente construído. A *framework* aborda os principais componentes do processo, desde a aquisição de dados do mundo real por meio de sensores e tecnologias de Internet das Coisas (IoT), até à construção e atualização contínua do modelo virtual correspondente. O estudo encontrou lacunas substanciais na integração dos diferentes componentes dos gémeos digitais, resultando em ineficiências e subutilização. A pesquisa também revelou que a necessidade de mais padronização em estruturas de gémeos digitais é um desafio significativo. Este estudo enfatiza a importância de usar uma abordagem integrada para desenvolver a tecnologia de gémeos digitais para realizar o seu pleno potencial na indústria do ambiente construído.

## 1. Introdução

O desafio de gerir o ambiente construído é atualmente particularmente complexo, considerando os crescentes requisitos de desempenho não apenas em termos de energia e meio ambiente, mas também do ponto de vista humano. Por um lado, há uma clara necessidade de investir em metas de desempenho e carbono. Por outro lado, é possível adotar uma abordagem sustentável para o ambiente construído apenas em uma sociedade saudável.

A complexidade e as capacidades de manter, melhorar e adaptar edifícios em condições de uso também obrigam os profissionais que atuam na gestão do edificado construído, a equiparem-se com ferramentas tecnológicas especializadas para automatizar tarefas rotineiras, gerir informação, monitorar o desempenho do edifício e apoiar os processos de tomada de decisão.

Consoante a inúmeros estudos [1], [2], o *Digital Twin* – ou em sua tradução literal o gêmeo digital (DT), destaca-se como abordagem tecnológica com um potencial de criação de valor, despertando interesse das empresas. Este domínio tem vindo a ganhar visibilidade na comunidade científica, refletida pelo aumento de publicações ao longo dos últimos anos [3].

Num contexto empresarial, a implementação de DT tem revelado impactos substanciais, contribuindo para uma melhoria na eficiência operacional e na tomada de decisões estratégicas [4], [5]. A capacidade de representar fielmente sistemas físicos no ambiente digital proporciona uma visão mais aprofundada e precisa, permitindo às organizações otimizar processos, antecipar desafios e aprimorar a sua agilidade face às rápidas mudanças do mercado. Este enfoque tecnológico continua a ser objeto de investigação intensiva, consolidando-se como um catalisador para a inovação e o avanço nas práticas empresariais.

Para implementar com sucesso um gêmeo digital para o ambiente construído, é crucial estabelecer um quadro abrangente que oriente sua integração. Portanto, este artigo tenta abordar as seguintes questões de pesquisa:

*Q1 – Como devemos estruturar o modelo de DT?*

*Q2 – Que informações deveríamos ser capazes de visualizar?*

*Q3 – Como o modelo de gêmeo digital deveria interagir com o usuário?*

Foi empregue uma abordagem de métodos mistos para compreender o estado das aplicações de gêmeos digitais no setor do ambiente construído. Esta abordagem integrou uma revisão detalhada da literatura e entrevistas com especialistas, explorando o assunto. Ao combinar essas duas metodologias, nosso objetivo era capturar tanto as tendências mais amplas identificadas em pesquisas existentes quanto as percepções práticas derivadas de exemplos específicos do mundo real. Esta abordagem aprimora nossa compreensão, proporcionando uma perspectiva holística sobre as aplicações em evolução de gêmeos digitais no ambiente construído.

O potencial transformador dos gêmeos digitais na gestão do ambiente construído oferece um sólido quadro conceitual para orientar as organizações em direção à adoção eficaz. Isso nos permite melhorar a eficiência e sustentabilidade dos processos, enquanto prepara os profissionais de FM para uma Nova Era de possibilidades.

## 2. A transformação digital na gestão do ambiente construído

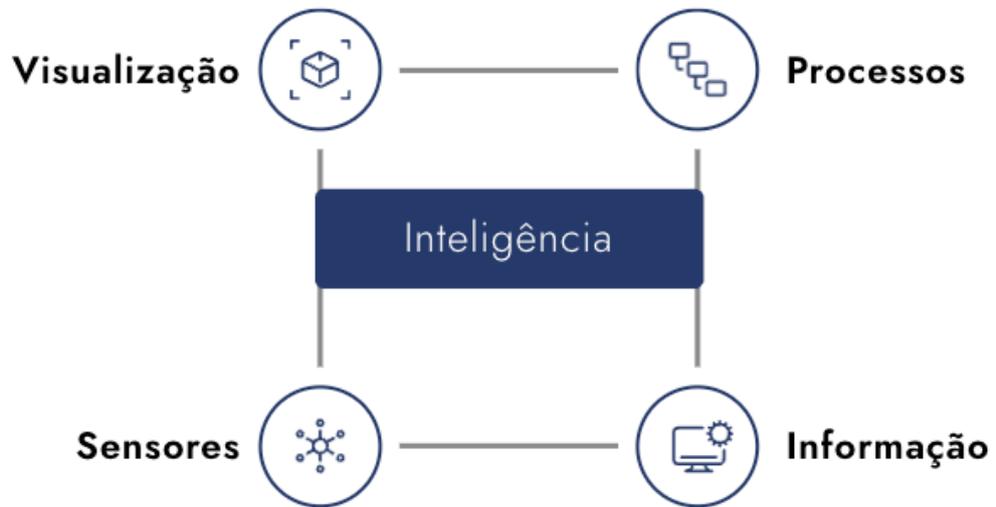
A chamada Indústria 4.0 (a quarta revolução industrial) visa conectar os sistemas de produção com as tecnologias de informação e comunicação (TIC), o que mudará significativamente a estrutura da indústria, os modelos de negócios e as necessidades do consumidor [6]. No setor da construção, essa transformação é chamada de Construção 4.0 [7]. A inclusão de conceitos novos e inovadores, como digitalização, industrialização e automação, tem sido impulsionada principalmente pela revolução digital e pela falta de mão-de-obra qualificada. Essas tendências têm o potencial de melhorar a estruturação e administração do setor industrial, otimizando os aspectos de custo, sustentabilidade ambiental e segurança ao longo da cadeia de valor do ambiente construído, contribuindo para a criação de uma indústria mais resiliente [7]. Além disso, as TIC estão a tornar-se cada vez mais importantes neste setor, fornecendo ferramentas e sistemas para a gestão da informação e a melhorando a produtividade e a eficiência.

O gêmeo digital, representa um dos desenvolvimentos mais promissores para a digitalização para esse setor [8]. O DT refere-se a uma representação virtual e digital de um objeto físico, processo ou sistema. É uma cópia digital em tempo real de um determinado objeto ou sistema que pode ser usado para monitorar, simular e analisar seu comportamento e desempenho. Ao fornecer insights detalhados e análises abrangentes, o DT permite uma compreensão mais profunda das operações em curso, possibilitando a detecção antecipada de problemas, a melhoria dos processos e até mesmo a previsão de tendências futuras. A capacidade de testar cenários e otimizar o desempenho com base em dados em tempo real marca um afastamento crucial das abordagens tradicionais de manutenção e gestão. Ao assimilar o potencial do gêmeo digital, a indústria pode alcançar níveis elevados de adaptação e resiliência, moldando assim um novo paradigma para o setor. Nesse contexto, o conceito de gêmeo digital prova ser um divisor de águas no caminho da indústria rumo à eficiência e inovação [3].

Pedral Sampaio *et al.* [9] esclareceram em seu artigo que conferir inteligência aos edifícios, em especial aos edifícios hospitalares, representa inequivocamente a trajetória iminente. A transformação em direção a imbuir os edifícios com reatividade, interatividade e imersão é inevitável para os sistemas desses edifícios inteligentes. Consequentemente, o valor acrescido da digitalização está pronto para auxiliar os gestores responsáveis pelo FM a enfrentar os desafios, gerindo habilmente as demandas e mitigando as repercussões futuras. A Figura 1 representa os desafios elencados pelos autores.

**Figura 1**

Desafios digitais na gestão do ambiente construído (adaptado de [9]).



O surgimento do gêmeo digital é um dos desenvolvimentos mais promissores na contínua digitalização deste setor. O DT representa uma replicação virtual e em tempo real de um objeto físico, processo ou sistema. Este equivalente digital facilita o monitoramento contínuo, simulação e análise aprofundada do comportamento e desempenho de um objeto ou sistema específico. Seu papel vai além da mera replicação.

À medida que as indústrias assimilam o potencial do gêmeo digital, seu impacto na adaptação e resiliência torna-se cada vez mais evidente. Esta tecnologia transformadora não é apenas uma ferramenta para eficiência, ela está moldando um novo paradigma para o setor. Em essência, o gêmeo digital representa um momento de ruptura na trajetória das indústrias, desbloqueando possibilidades sem precedentes para eficiência, adaptabilidade e inovação orientada para o futuro.

O poder transformador do DT torna-se ainda mais evidente em sua capacidade de simular diversos cenários e otimizar o desempenho com base em dados em tempo real. Essa mudança em relação às abordagens convencionais de manutenção e gestão representa uma mudança de paradigma, onde as indústrias aproveitam as capacidades dinâmicas do DT para aprimorar eficiência, capacidade de resposta e eficácia operacional geral.

A assimilação do potencial do gêmeo digital dentro da indústria transcende meras melhorias operacionais. Ele lança as bases para níveis aprimorados de adaptação e resiliência. Além de otimizar processos existentes, o DT torna-se útil na formação de uma indústria avançada que antecipa proactivamente desafios e abraça a inovação.

Nesta jornada transformadora, o conceito de gêmeo digital assume o papel de um marco crítico, não apenas como uma ferramenta tecnológica, mas como precursora de eficiência e inovação. Ele indica o compromisso da indústria em permanecer na vanguarda dos avanços tecnológicos, liderando uma nova era caracterizada pela adaptabilidade, resiliência e busca incessante por soluções inovadoras.

Apesar da atual falta de clareza conceptual e da ausência de uma definição formal para o que realmente são os gémeos digitais – tanto no presente como nas perspetivas futuras – a definição proposta neste artigo refere-se a uma representação digital e em tempo real de um determinado objeto ou sistema que pode ser usada para monitorizar, simular e analisar o seu comportamento e desempenho [3].

### 3. Estrutura de um digital twin

#### 3.1. Termos e definições

O termo "gémeo digital" remonta a 2002, creditado a Michael Grieves, que introduziu o conceito criando o primeiro modelo de um "gémeo digital" como um modelo conceitual para gestão do ciclo de vida do produto [10].

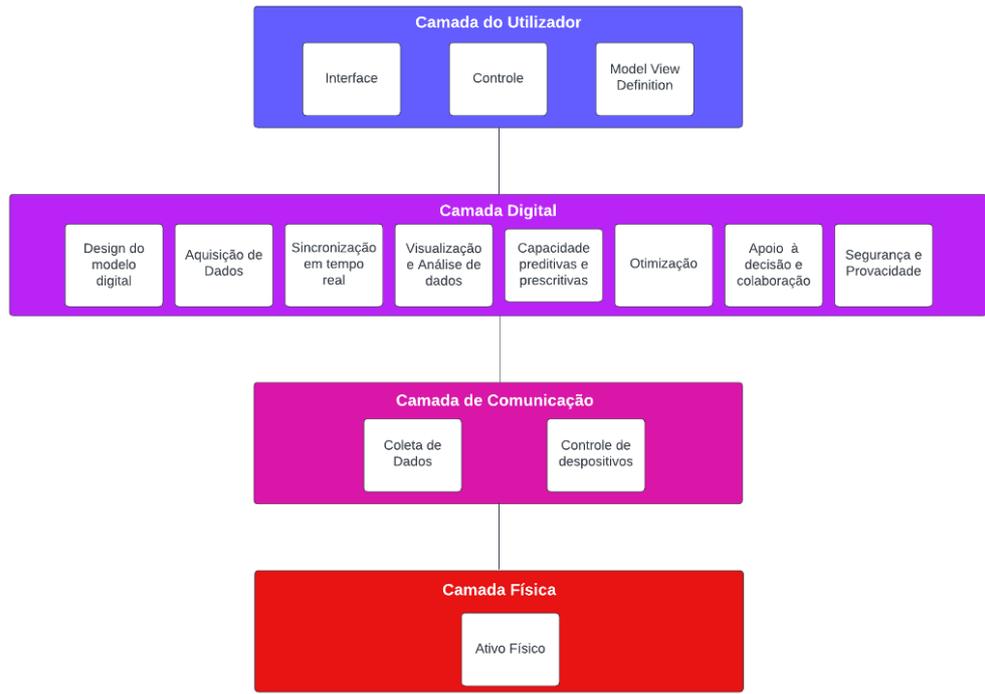
A arquitetura do DT engloba diversos elementos fundamentais que operam em conjunto para estabelecer uma ligação dinâmica entre o mundo real e o virtual. O DT incorpora uma camada física e uma camada virtual com uma ligação bidirecional contínua entre o objeto físico e a sua contraparte digital. A camada física representa o sistema ou processo físico real, enquanto a camada virtual compreende os dados e o modelo dos sistemas ou processos físicos. A interconexão entre estas camadas física e virtual viabiliza monitorizar, simular, otimizar, controlar, salvaguardar e identificar falhas e padrões intrínsecos, através de um fluxo operacional contínuo, resultando na redução das possibilidades de ocorrência de falhas de origem humana. Cada componente destas dimensões contribui para a integração entre o mundo físico e o virtual, proporcionando não só uma compreensão mais aprofundada do objeto, mas também facilitando a tomada de decisões fundamentadas e a busca pela melhoria contínua.

O conceito fundamental dos gémeos digitais envolve a criação de um sofisticado equivalente virtual para um produto tangível. Esta representação virtual é projetada para espelhar o ativo físico em cada estágio ao longo de todo o seu ciclo de vida, garantindo uma gestão abrangente baseada em dados. Este modelo abrange as quatro camadas essenciais que constituem um Gémeo Digital: a camada do utilizador, a camada digital, a camada de comunicação e a camada física (Figura 2) [11], [12].

A arquitetura do DT engloba elementos fundamentais que estabelecem uma conexão dinâmica entre os mundos real e virtual. O DT incorpora um ativo físico e virtual com uma ligação contínua bidirecional entre o objeto físico e seu equivalente digital. A camada física representa o sistema ou processo físico real, enquanto a camada virtual compreende os dados e o modelo dos sistemas ou processos físicos (Figura 3).

**Figura 2**

Estrutura conceitual para um DT (adaptados de [11]).



A interligação entre estas camadas, físicas e virtuais, permite o monitoramento, simulação, otimização, controle, salvaguarda e identificação de falhas intrínsecas e padrões através de um fluxo operacional contínuo, reduzindo a probabilidade de falhas induzidas pelo ser humano. Cada componente destas dimensões contribui para a integração entre o mundo físico e virtual, proporcionando uma compreensão mais profunda do objeto e facilitando a tomada de decisões informadas e a busca pela melhoria contínua.

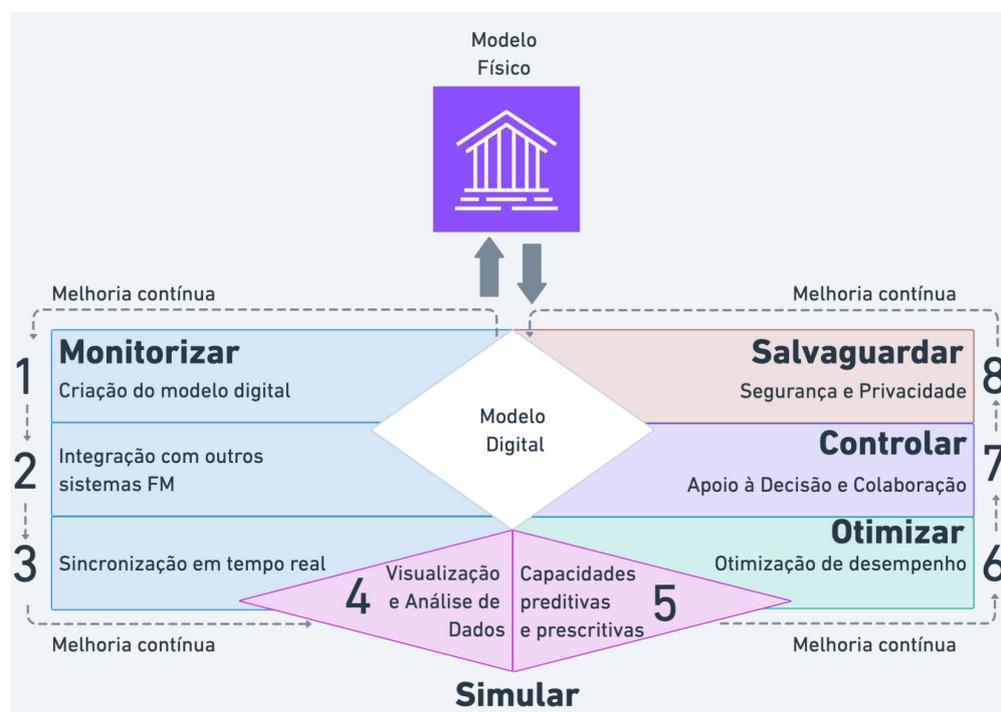
Esta abordagem arquitetónica do DT cria uma representação digital precisa do mundo físico e estabelece um ambiente propício à análise avançada, inovação e eficiência operacional. O DT é essencial para impulsionar a excelência operacional e promover a tomada de decisões informadas em diversos domínios, ao fomentar uma ligação dinâmica entre o real e o virtual.

## 3.2. Camadas essenciais

### 3.2.1. Camada do Utilizador

A camada de utilizador do DT é a ponte entre o mundo físico e o seu equivalente digital, conhecido como gêmeo digital. A interface do gêmeo digital facilita a comunicação, monitorização, análise e controlo entre a entidade física e a sua réplica digital [12]. Portanto, a primeira camada facilita a interação entre ativos digitais e partes interessadas através da sua interface de *front-end* [13]. É crucial permitir a exploração do DT pelos utilizadores, abrangendo dados e modelos e as suas características distintivas. Em essência, possibilitar uma interação intuitiva,

mas exploratória é necessário, garantindo que os utilizadores possam navegar sem problemas e aprofundar as complexidades dos componentes do Gêmeo Digital.



**Figura 3**  
Arquitetura funcional conceitual de gêmeos digitais de ativos físicos.

A camada de utilizador do DT é fundamental para uma representação detalhada da estrutura e operações da instalação. Adaptada para diversos utilizadores, deve ser organizada em unidades específicas para permitir uma exploração focada. A visualização das interconexões é crucial para compreender o funcionamento colaborativo e melhorar a tomada de decisões e eficiência.

A camada de atuação desempenha um papel fundamental no quadro geral da plataforma DT. Servindo como uma interface dinâmica, vai além de uma mera exibição e envolve-se ativamente com as perceções geradas pela camada digital. Esta camada não só apresenta informações legíveis pelo ser humano e visuais derivados dos resultados da camada de aplicação, mas também capacita os utilizadores com a capacidade de compreender e interpretar conjuntos de dados complexos. Além disso, facilita a monitorização e controlo em tempo real, permitindo que os utilizadores tomem medidas imediatas com base nas perceções apresentadas.

Ao fornecer uma ponte entre a camada digital e os utilizadores finais, a camada de utilizador garante que a informação gerada pela plataforma DT seja compreensível e passível de ação. Esta interação dinâmica permite processos de tomada de decisão mais informados, já que os utilizadores podem responder prontamente a condições em mudança ou anomalias detetadas pelo. A camada de utilizador, portanto, constitui um componente decisivo na melhoria da utilidade prática da plataforma DT, oferecendo tanto visualização significativa quanto controlos valiosos para um ambiente operacional mais robusto e responsivo.

### 3.2.2. Camada digital

Esta camada compreende uma infraestrutura abrangente que inclui o banco de dados, o servidor de banco de dados e as aplicações de controle. Este sistema integrado serve como o repositório de armazenamento e análise de dados, recebendo continuamente atualizações tanto dos componentes físicos, facilitados pela camada de comunicação, quanto da camada dinâmica de utilizador. Esse banco de dados garante um mecanismo de armazenamento robusto, permitindo a organização e recuperação eficiente de dados. Por outro lado, o servidor de banco de dados gerencia o fluxo contínuo de informação entre os vários componentes da plataforma DT [14].

A arquitetura detalhada do DT apresentada na Figura 3 ilustra a utilização estratégica do DT no ambiente construído. Composta por 8 dimensões, esta estrutura abrange todo o ciclo de vida, desde a criação de modelos digitais até a sua otimização e controle em tempo real.

A dimensão 1 envolve a criação de um modelo digital completo e preciso do objeto ou processo físico. Esse modelo serve como uma representação virtual que reflete todas as características e propriedades do mundo real, estabelecendo uma base sólida para todas as dimensões subsequentes. A dimensão 2 é definida pela integração de sistemas diversos, sendo a espinha dorsal de um DT. Esses dados são integrados para formar um conjunto abrangente de informações em tempo real que alimentam o modelo digital, permitindo que ele evolua e se adapte continuamente.

Na dimensão 3, a sincronização contínua entre o modelo digital e os dados do mundo real é o que diferencia um DT de uma representação estática. Essa conexão bidirecional garante que o modelo reflete fielmente as mudanças, atualizações e eventos que ocorrem no objeto ou processo em tempo real. Assim, as dimensões 1, 2 e 3 formam a base essencial da fase de monitorização do objeto.

Com o modelo digital atualizado constantemente, a fase de simulação, aqui repartida em duas dimensões (4 e 5), ganha uma dimensão diferente das simulações realizadas com modelos estáticos. Dessa forma, é possível visualizar e analisar os dados de forma mais clara e aprofundada. Visualizações gráficas e ferramentas de análise permitem entender melhor o comportamento do objeto físico e identificar padrões e tendências relevantes. Além disso, fundamentado na análise de dados, um DT pode desenvolver capacidades preditivas e prescritivas. Isso significa que o modelo pode não apenas prever futuros cenários com base em padrões históricos, mas também sugerir ações específicas a serem tomadas para otimizar o desempenho ou prevenir problemas. Com isso, na dimensão 6 é possível ajustar e otimizar o desempenho do objeto físico em tempo real. Essas otimizações podem variar desde ajustes finos, para melhorar a eficiência, até mudanças substanciais para enfrentar desafios emergentes na gestão do ambiente construído.

A dimensão do controle (dimensão 7), desempenha um papel crucial, trazendo um valor significativo para o seu funcionamento e utilidade em diversos setores. Se, por

um lado, um DT oferece uma base sólida para tomadas de decisão informadas, por outro, facilita a colaboração entre equipas, permitindo que todos trabalhem com um entendimento comum e atualizado sobre o ambiente construído. Dessa forma, com base nas informações fornecidas pelo gémeo digital, os decisores podem ter uma visão mais clara dos possíveis impactos das suas escolhas antes de implementá-las no mundo físico.

De modo a salvaguardar o modelo digital do objeto, a segurança e a privacidade dos dados é fundamental num ambiente digital cada vez mais interconectado e por isso deve ser considerado como parte necessária de uma estrutura de DT, representado na figura 3 pela dimensão 8. Neste sentido, é crítico estabelecer políticas claras sobre como os dados serão recolhidos, armazenados e utilizados nesse gémeo digital, garantindo o cumprimento das regulamentações de privacidade vigentes. Garantir que os dados registados e partilhados são protegidos contra acesso não autorizado é uma dimensão essencial em qualquer implementação. Portanto, os protocolos de segurança a implementar devem permitir identificar possíveis ameaças e vulnerabilidades em tempo real para garantir a segurança dos dados.

Cada uma dessas dimensões operam num ciclo incessante de melhoria contínua. O modelo digital, encontra-se um ciclo iterativo, onde os conhecimentos extraídos através das dimensões anteriores impulsionam ajustes, aperfeiçoamentos e inovações. Esse processo em cíclico assegura que o gémeo digital e, conseqüentemente, o objeto ou processo físico associado, sejam refinados e otimizados de forma contínua para alcançar os melhores resultados. [29]

Além disso, esta camada desempenha um papel fundamental no processamento e análise de dados. Estas aplicações são projetadas para se adaptarem a cenários em evolução, incorporando entradas em tempo real tanto do ambiente físico quanto da camada de utilizador. Ao recolher ativamente os dados coletados, as aplicações de controlo contribuem para a capacidade da plataforma de tomar decisões informadas, implementar ações responsivas e manter a sincronização com os correspondentes físicos.

Esta camada funciona como o sistema nervoso central da plataforma DT, coordenando o fluxo de informação, possibilitando uma análise de dados robusta e garantindo a adaptabilidade necessária para uma tomada de decisão eficaz em ambientes operacionais dinâmicos. As atualizações constantes provenientes tanto das camadas de comunicação quanto da camada de utilizador melhoram a capacidade de resposta da plataforma e contribuem para a sua eficácia global na gestão e otimização dos sistemas conectados.

### 3.2.3. Camada de comunicação

A camada de comunicação é uma tecnologia fundamental para promover a coordenação bidirecional entre modelos digitais e construção física. Esta camada também colabora com a camada digital para facilitar a troca de dados contínua entre os

componentes físicos e os modelos virtuais. Essa camada abrange várias tecnologias de comunicação, incluindo a Internet e várias redes de comunicação sem fio. Exemplos notáveis dentro deste espectro incluem a rede local sem fio (WLAN), a rede pessoal sem fio (WPAN), identificação por radiofrequência (RFID), USB sem fio, Bluetooth ou tecnologias ZigBee, assim como redes mais amplas como redes de área ampla (WAN) e acesso por micro-ondas com interoperabilidade mundial (WiMAX) [15].

A Internet serve como um quadro global para a transmissão de dados, enquanto tecnologias sem fio como WLAN e WPAN fornecem opções de conectividade local e pessoal. Utilizando RFID, USB sem fio, Bluetooth e ZigBee, estende-se ainda mais o alcance da comunicação dentro de contextos específicos. Além disso, a incorporação de WAN e WiMAX amplia as capacidades de comunicação, garantindo a troca de dados/informações em áreas geográficas mais extensas.

Este conjunto diversificado de tecnologias de comunicação dentro da camada de comunicação aprimora a versatilidade da plataforma DT, permitindo que ela se adapte a vários cenários de rede e integre-se perfeitamente aos espaços físicos e virtuais. A relação entre as camadas de comunicação e digital forma uma ponte crítica, facilitando a troca de dados em tempo real e contribuindo para a capacidade de resposta e eficácia geral do sistema DT.

#### 4. Considerações finais

Num cenário onde a tecnologia e a inovação estão constantemente a moldar as nossas abordagens para a gestão e otimização de processos, o conceito do Digital Twin (DT) emerge como uma ponte dinâmica entre os ambientes físico e virtual.

A estrutura do DT, delineada com os seus distintos elementos interligados, não apenas oferece uma compreensão mais profunda dos sistemas e processos do mundo real, mas também impulsiona a colaboração, a tomada de decisões bem informadas e a constante melhoria. Ao incorporar uma camada física e uma camada virtual, conectadas por uma ligação bidirecional ininterrupta, o DT transcende as limitações da representação estática, permitindo a adaptação, a previsão e a correção em tempo real. A capacidade de monitorizar, simular, otimizar, controlar, salvaguardar e identificar falhas e padrões intrínsecos, com um fluxo operacional ininterrupto, redefine como os desafios do mundo físico são enfrentados.

Ao seguir esta abordagem, a possibilidade de erros humanos é consideravelmente reduzida, enquanto a eficiência, a precisão e a produtividade se elevam. Por fim, neste artigo foi sistematizada graficamente um mapa estratégico para aplicar o DT no ambiente construído, reforçando seu potencial transformador.

#### Financiamento

Este projeto é financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), bolsa número 2022.12041. BD e pela unidade de investigação do CERIS (UIDB/04625/2020).

Os Fundos Europeus Estruturais e de Investimento também apoiam este trabalho no componente FEDER através do Programa Operacional de Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020) e no âmbito do Programa Operacional Regional de Lisboa (POR Lisboa) [Projeto n.º 046123; Referência de Financiamento: POCI-01-0247-FEDER-046123 e LISBOA-01-0247-FEDER-046123]. Além disso, o projeto n.º FBR\_OC2\_100 beneficia de uma bolsa ao abrigo do Fundo de Cidadãos Ativos da Islândia, Liechtenstein e Noruega, através das Bolsas do Espaço Económico Europeu.

## Referências

- [1] J. Vieira, J. P. Martins, N. M. de Almeida, H. Patrício, and J. G. Morgado, “Towards Resilient and Sustainable Rail and Road Networks: A Systematic Literature Review on Digital Twins,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 12. MDPI, Jun. 01, 2022. doi: 10.3390/su14127060.
- [2] N. Elyasi, A. Bellini, and N. Johanne Klungseth, “Digital transformation in facility management: An analysis of the challenges and benefits of implementing digital twins in the use phase of a building,” *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 1176, no. 1, p. 012001, May 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1176/1/012001.
- [3] M. Singh, E. Fuenmayor, E. P. Hinchy, Y. Qiao, N. Murray, and D. Devine, “Digital twin: Origin to future,” *Applied System Innovation*, vol. 4, no. 2. MDPI AG, 2021. doi: 10.3390/asi4020036.
- [4] Q. Lu, X. Xie, A. K. Parlikad, and J. M. Schooling, “Digital twin-enabled anomaly detection for built asset monitoring in operation and maintenance,” *Autom Constr*, vol. 118, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103277.
- [5] A. Johnson *et al.*, “Informing the information requirements of a digital twin: a rail industry case study,” *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Smart Infrastructure and Construction*, vol. 174, no. 2, pp. 33-45, Feb. 2021, doi: 10.1680/jsmic.20.00017.
- [6] G. Nota, D. Peluso, and A. T. Lazo, “The contribution of Industry 4.0 technologies to facility management,” *International Journal of Engineering Business Management*, vol. 13, 2021, doi: 10.1177/18479790211024131.
- [7] F. Muñoz-La Rivera, J. Mora-Serrano, I. Valero, and E. Oñate, “Methodological-Technological Framework for Construction 4.0,” *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 28, no. 2, pp. 689-711, Mar. 2021, doi: 10.1007/s11831-020-09455-9.
- [8] A. Rasheed, O. San, and T. Kvamsdal, “Digital twin: Values, challenges and enablers from a modeling perspective,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 21980-22012, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2970143.

- [9] R. Pedral Sampaio, A. Aguiar Costa, and I. Flores-Colen, "A discussion of digital transition impact on facility management of hospital buildings," *Facilities*, Apr. 2023, doi: 10.1108/f-07-2022-0092.
- [10] M. Grieves and J. Vickers, "Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems," in *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches*, Springer International Publishing, 2017, pp. 85-113. doi: 10.1007/978-3-319-38756-7\_4.
- [11] ISO 23247-1, "Automation systems and integration-Digital twin framework for manufacturing-Part 1: Overview and general principles," 2021. [Online]. Available: [www.iso.org](http://www.iso.org)
- [12] ISO 23247-2, "Automation systems and integration-Digital twin framework for manufacturing-Part 2: Reference architecture," 2021. [Online]. Available: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7a6c23aa-d7d0-4df1-a5d5->
- [13] X. Zheng, J. Lu, and D. Kiritsis, "The emergence of cognitive digital twin: vision, challenges and opportunities," *Int J Prod Res*, vol. 60, no. 24, pp. 7610-7632, 2022, doi: 10.1080/00207543.2021.2014591.
- [14] O. C. Madubuiké and C. J. Anumba, "Digital Twin-Based Health Care Facilities Management," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 37, no. 2, Mar. 2023, doi: 10.1061/jccee5.cpeng-4842.
- [15] O. C. Madubuiké, C. J. Anumba, and E. Agapaki, "Scenarios for digital twin deployment in healthcare facilities management," *Journal of Facilities Management*, 2023, doi: 10.1108/JFM-10-2022-0107.

# O nível de maturidade digital BIM no setor de *Facility Management* em Portugal

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.34>

**Rodrigo Pedral Sampaio<sup>1</sup>, Francisco Vasconcelos<sup>2</sup>,  
António Aguiar Costa<sup>1</sup>, Inês Flores-Colen<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability (CERIS),  
DECivil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa,  
Av. Rovisco Pais, 1 1049-001, Lisboa, Portugal*

<sup>2</sup> *DECivil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa,  
Av. Rovisco Pais, 1 1049-001, Lisboa, Portugal*

## Resumo

A metodologia de modelação da informação da construção (BIM) é reconhecida na literatura como um avanço promissor para a indústria de Arquitetura, Engenharia, Construção e *Facility Management* (AECFM), sendo aplicada em todas as fases do ciclo de vida de um projeto. A capacidade dos modelos virtuais em capturar informações ao longo do projeto oferece um vasto potencial para aprimorar a eficácia do gestor de *Facility Management* (FM) na fase operacional. Este estudo analisou o estado atual do setor de FM em Portugal quanto à digitalização e implementação do BIM-FM, conduzindo uma pesquisa online com 2373 profissionais. A análise revelou 108 respostas válidas, permitindo derivar o nível de maturidade digital do FM português com base no modelo de maturidade BIM de Bew-Richards. O resultado indicou que uma parcela significativa do setor ainda possui baixo nível de digitalização, com a implementação do BIM-FM em estágio de desenvolvimento que demanda legislação e investimento para alcançar seu potencial máximo. Este estudo destaca a sinergia entre BIM e FM, fornecendo caminhos para profissionais identificarem áreas onde o BIM pode ser benéfico nas práticas de FM.

## 1. Introdução

Nas últimas décadas, o setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e *Facility Management* (AECFM) tem sido um impulsionador vital da economia global, embora seja criticado por sua deficiência de digitalização em comparação com outros setores. Nesse sentido o desafio de gerir o ambiente construído, considerando requisitos de desempenho energético, ambiental e humano, destaca a importância do *Facility Management* (FM) para manter, melhorar e adaptar edifícios em condições de uso [1].

Em seu relatório anual a Fortune Business Insights relata que o mercado global de FM atingiu 1.260,0 mil de milhões de dólares em 2022. Ainda, espera-se que esse mercado cresça a uma taxa anual de 6,7% de 2023 a 2030, representando uma parte substancial do setor em todo o mundo [2]. A complexidade e as necessidades da gestão do ambiente construído também exigem dos gestores de FM a adoção de ferramentas tecnologicamente avançadas, especializadas para automatizar tarefas rotineiras, gerenciar informações, monitorar o desempenho do edifício e apoiar processos de tomada de decisão [3].

A Modelação da Informação da Construção, ou do inglês, *Building Information Modeling* (BIM) representa um dos desenvolvimentos mais promissores para a digitalização do setor AECFM e experimentou um rápido crescimento nos últimos anos [4]. A implementação da metodologia BIM requer um investimento inicial na formação de pessoal para adquirir as competências necessárias para usar as ferramentas disponíveis, bem como investimento financeiro no desenvolvimento de novas tecnologias e equipamentos [5]. Seus benefícios incluem o armazenamento unificado de dados, acessível a todas as partes, reduzindo inconsistências e erros. Testes virtuais permitem análise prévia da construção para controle efetivo de cronograma e orçamento. Para além disso, as atualizações durante a construção facilitam manutenção e garantem eficiência [6].

O impacto da transformação digital envolve altos níveis de integração, conectividade, colaboração em tempo real e inovações em tecnologia inteligente que atendem à demanda por métodos mais eficientes e sustentáveis [7]. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo identificar e caracterizar, por meio de uma investigação estruturada, o nível de digitalização do setor de FM em Portugal, compreender e avaliar o nível de implementação do BIM como uma ferramenta de apoio ao FM em organizações que operam em Portugal e identificar as principais barreiras para a implementação.

## 2. BIM-FM

A gestão eficiente de um projeto tem sido sempre um desafio. Desde o início do desenvolvimento do BIM, este tópico tem sido amplamente debatido [8]. A capacidade dos modelos BIM em transmitir informação nas várias etapas do desenvolvimento do projeto pode gerar benefícios vitais para a eficiência do setor FM.

Ao ponderar sobre esses benefícios advindos da adoção de modelos BIM para a gestão do FM, torna-se imperativo assegurar a interoperabilidade dessas ferramentas com os sistemas já estabelecidos na fase operacional. Esta consideração engloba os sistemas de gestão informatizada de FM, fomentando, assim, uma colaboração sinérgica entre tais sistemas. Esta integração possibilita que a informação no modelo BIM sejam inseridas nesses sistemas de gestão, poupando significativo tempo de entrada de dados e garantindo a qualidade e precisão das informações. Os benefícios dessa integração refletem-se tanto na redução dos custos quanto na rapidez com que se alcança um desempenho ótimo [1].

## 2.1. O BIM e o nível de maturidade digital do setor FM em Portugal

O desenvolvimento e a maturidade do BIM têm sido discutidos por vários autores [9]. Uma vez que o BIM é uma metodologia que abrange várias disciplinas, incluindo o FM, a maturidade do BIM de uma indústria ou organização deve ser avaliada com base nos seus objetivos [3]. Nesse sentido, torna-se essencial estabelecer uma definição por níveis de aplicação para avaliar essa maturidade. Destaca-se que o nível de maturidade do BIM não pode ser dissociado da maturidade digital de uma organização ou setor pois, a adoção efetiva do BIM requer não apenas a implementação de tecnologia BIM específica, mas também a capacidade da organização de integrar essa tecnologia em seus processos existentes [10], [11].

Se, por um lado, a maturidade digital de uma organização refere-se à sua capacidade de utilizar e aproveitar as tecnologias digitais para melhorar seus processos e tomada de decisões [12], por outro, o nível de maturidade no contexto do ambiente construído está intrinsecamente ligado com a sua capacidade de aproveitar ao máximo os benefícios do BIM e de adaptar seus processos e cultura organizacional em conformidade. Portanto, os modelos de maturidade da metodologia BIM desempenham um papel vital ao fornecer orientação a partes interessadas e empresas que dependem dessa metodologia, ajudando-os a identificar suas capacidades de modelação da informação e facilitar melhorias em seus processos [13].

O modelo de maturidade Bew-Richards tem sido um dos modelos preferências para discutir e verificar o nível de maturidade do BIM [9]. Ele se baseia na evolução natural da maturidade da metodologia BIM e na implementação prática dessa metodologia. O modelo de maturidade Bew-Richards avalia indústrias ou organizações numa escala de 0 a 3, conforme mostrado na Tabela 1 [14].

Tabela 1: Descrição do Nível de Maturidade BIM Bew-Richards [14].

Nível	Descrição
Nível 0	Envolve a utilização de software como o MS Office para a gestão de informações e modelos de desenho assistido por computador (CAD) em 2D. A informação é partilhada em papel ou em formato digital.
Nível 1	Envolve o uso de software específico para gestão de edifícios e infraestruturas. São utilizados modelos CAD em 2D e 3D, e a informação é partilhada entre as partes interessadas num ambiente comum de dados (CDE), assumindo apenas uma colaboração parcial.
Nível 2	Envolve o uso de modelos BIM já enriquecidos com informações adicionais que acrescentam valor ao modelo, podendo ser apenas parcialmente integrados num único modelo. Modelos digitais gêmeos associados a sensores para monitorização podem ser utilizados. Inclui a partilha de informações num arquivo padrão (como <i>Industry Foundation Classes</i> – IFC) e um CDE.
Nível 3	Envolve o uso de modelos BIM totalmente integrados (iBIM) entre as partes envolvidas no planeamento, construção e gestão do ativo, e um único modelo com informação centralizada, no qual os dados podem ser consultados e modificados por todas as partes envolvidas.

A implementação do BIM no setor AECFM acelerou rapidamente nos últimos anos em todo o mundo [15]. Na Europa, alguns países já adotaram a metodologia BIM de nível 2 em transição para a 3. Por exemplo, os governos da Noruega e da Áustria foram os primeiros a solicitar a adoção do BIM de nível 3 para projetos públicos [15]. Países como Reino Unido, França, Rússia, Finlândia, Suécia, Dinamarca e Itália exigem um nível 2 de maturidade BIM. Espanha, Alemanha e República Checa já iniciaram programas para adotar o nível 2 de maturidade, embora não o tenham tornando obrigatório [15]. Portugal, Suíça e Bélgica ainda não exigem o uso do BIM na indústria AECFM [15]. Apesar do progresso na institucionalização oficial do BIM, a adoção real de práticas, métodos e ferramentas BIM pela indústria da construção ainda precisa ser aprimorada.

Em relação ao panorama em Portugal, o processo de padronização da metodologia BIM tem caminhado para a convergência de esforços nacionais e europeus através da Comissão Técnica 197 (CT 197). Sua missão é desenvolver padronizações no âmbito dos sistemas de classificação, modelagem de informação e processos ao longo do ciclo de vida de projetos de construção e monitorar os desenvolvimentos do Comitê Europeu de Normalização 442 (CEN/TC 442).

O nível de maturidade BIM do setor FM em Portugal é um aspeto crucial a investigar para compreender a adoção atual e o potencial futuro dessa metodologia na indústria do FM. Ao compreender o nível de maturidade digital, podemos identificar pontos fortes, fraquezas e oportunidades de melhoria dentro do setor FM português. Essas informações podem ajudar a orientar o desenvolvimento e implementação de estratégias FM baseadas em BIM mais eficazes e eficientes no país.

A avaliação do nível de maturidade digital também nos permite comparar o setor de FM português com padrões internacionais e melhores práticas. Essa comparação pode revelar valiosos caminhos sobre como o setor FM em Portugal pode beneficiar das experiências internacionais e aprimorar seu desempenho geral. Além disso, compreender o nível de maturidade digital pode contribuir para a discussão mais ampla sobre a digitalização nas indústrias da construção e no setor FM.

Ao examinar o estado atual da adoção digital no setor FM em Portugal, podemos reconhecer áreas onde a indústria precisa de mais apoio, seja em termos de tecnologia, educação ou desenvolvimento de políticas. O nível de maturidade digital pode ajudar também aos formuladores de políticas e intervenientes da indústria a criar iniciativas personalizadas para fomentar o crescimento e a competitividade do setor, melhorando, em última análise, a gestão do ambiente construído e a qualidade de vida para os cidadãos portugueses.

Uma compreensão abrangente do nível de maturidade digital do setor FM em Portugal é essencial para identificar desafios atuais e oportunidades potenciais, apoiando o desenvolvimento de estratégias de FM baseadas na metodologia BIM alinhadas com as necessidades da indústria e as melhores práticas internacionais. A pesquisa pode servir também como um modelo para outros países interessados em realizar suas próprias pesquisas de maturidade digital em FM, fornecendo uma estrutura e metodologia para coleta e análise de dados.

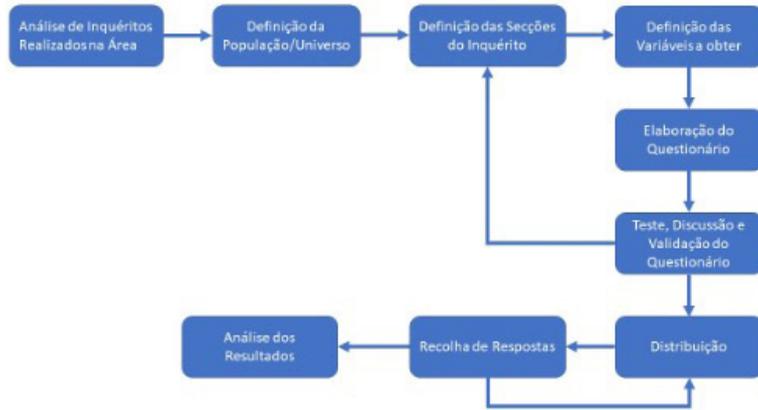
### 3. Metodologia de investigação e análise dos dados

Foi realizada uma revisão da literatura a nível nacional e internacional para avaliar a extensão da digitalização no setor FM, com foco na metodologia BIM-FM. Esta revisão proporcionou um ponto de partida para a obtenção de uma avaliação objetiva do cenário nacional através de um inquérito realizado em colaboração com a Associação Portuguesa de *Facility Management* (APFM). A pesquisa foi realizada na plataforma *Google Forms* e as respostas foram rastreadas anonimamente para maximizar a participação dos entrevistados. A distribuição do questionário foi feita via e-mail, LinkedIn e através da rede de contactos da APFM, de forma a facilitar a dispersão do mesmo e majorar a hipótese de obter uma amostra mais significativa. Os emails foram enviados para 50 empresas especializadas em FM. Pela plataforma LinkedIn foram contactados de forma direta 118 profissionais ligados ao FM. Através da APFM, o inquérito foi distribuído via email, enviado anexo à newsletter e via publicação na página e grupo APFM do LinkedIn.

A fase de resposta foi dividida em duas etapas, sendo que a primeira fase durou dois meses e a segunda fase durou um mês. Os resultados obtidos na primeira fase determinaram a realização de uma nova rodada de pesquisas mensais. Este processo continuou até que uma amostra significativa fosse obtida.

A metodologia adotada é apresentada na Figura 1. A análise de diversos estudos nacionais e internacionais ajudou a determinar a estrutura, as variáveis e os itens do questionário da pesquisa. Além disso, forneceu uma base para analisar criticamente os resultados do inquérito e compará-los com a evolução global.

**Figura 1**  
Esquema da metodologia adotada.



Para a validação do questionário foram realizadas várias iterações até ser obtido o questionário a distribuir. Tal desenvolvimento foi realizado em conjunto com o grupo de estudo e a APFM de forma a otimizar o questionário. Após definir a estrutura e variáveis, o foco foi na clareza das perguntas, com a APFM a contribuir significativamente. O tempo de resposta também foi considerado, sendo crucial para a composição final do questionário, influenciando tanto o número de perguntas quanto as opções de resposta. Uma validação da duração do questionário foi feita com um grupo externo ao público-alvo, resultando na redução do número de perguntas e opções de resposta.

De forma a calcular o número de respondentes relevante para a população/universo tido em conta, foi utilizada a expressão definida em (1). Foi adicionalmente considerado um erro e nível de confiança pré-definidos. Tendo em conta uma população finita, foram consideradas duas hipóteses:

- Nível de confiança = 95%; erro da amostra = 10%
- Nível de confiança = 95%; erro da amostra = 5%

$$n = \frac{Z^2 pqN}{d^2(N - 1) + Z^2 pq}$$

- n = tamanho da amostra;
- N = tamanho da população;
- Z = abcissa da norma padrão (valor tabelado) para um determinado nível de confiança
- Z = 1,96 → (1-d) = 95%
- p = estimativa da proporção
- q = 1-p
- p = 0,5 – quando não tivermos condições para prever o valor possível de p
- d = erro da amostra

Para este estudo foi considerada uma população  $N = 2373$ , visto este ser o número de assinantes da newsletter mensal da APFM. Esta decisão foi baseada na credibilidade que a APFM tem no meio do FM em Portugal e no facto dos seus associados serem o grupo-alvo deste inquérito. Face à população considerada, para as hipóteses 1 e 2 tem-se:

- Tamanho da população: 2373
- N.º de respondentes para a hipótese 1 (Nível de Confiança = 95% e Erro da Amostra = 10%): 93
- N.º de respondentes para a hipótese 2 (Nível de Confiança = 95% e Erro da Amostra = 5%): 331

Na primeira fase de inquérito foram obtidas 54 respostas distribuídas entre dois meses. Tal resultado ficou abaixo do mínimo de respostas definido. Foi então realizada uma segunda fase, que apesar da duração mais reduzida, resultou na obtenção de mais 54 respostas. As 108 respostas obtidas, valida a hipótese 1 que considera um nível de confiança de 95% e um erro amostral de 10%.

#### 4. Resultados e discussão

Ao caracterizar o setor de FM em Portugal, a primeira distinção feita foi entre a prestação de serviços de apoio ao FM, ou seja, *Facility Services* (FS), e os gestores de FM. No que diz respeito aos responsáveis pelo FM, os resultados analisados indicam que, a nível nacional, na gestão de edifícios, dá-se prioridade ao FM interno, sendo realizado por um departamento individual ou coletivo pertencente à empresa que ocupa o edifício, em vez de ser executado por uma entidade externa contratada para esse fim. Esta afirmação é corroborada pelo facto de apenas 6% dos profissionais de FM questionados em Portugal pertencerem a organizações onde o FM é a principal atividade. No que diz respeito à área onde a organização em que esses respondentes mais se focam, este estudo revelou a atividade a inspeção e manutenção como principal. É de notar que o resultando se encontra em linha com estudo realizado em Steenhuizen *et al* em 2014 [16], onde de revelou que as organizações FM portuguesas tem uma natureza mais técnica, não focando em serviços como o conforto ou o bem-estar, por exemplo.

Nesse sentido, a pesquisa ainda revela o atraso no nível de FM em comparação com a realidade europeia e a necessidade de uma maior consciencialização sobre a importância desta estratégia em Portugal.

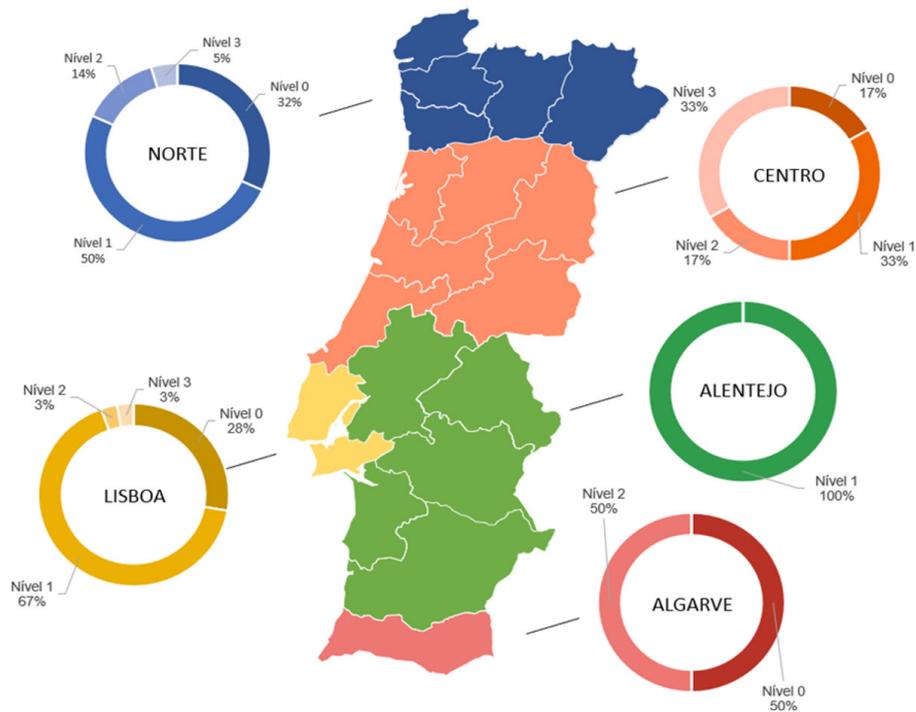
Em seguida, foi avaliado o nível de maturidade digital do setor FM em Portugal. Para o efeito foram desenvolvidos 4 níveis baseados nos níveis de maturidade BIM e adaptados para efeitos de maturidade digital FM devido à correlação associada ao BIM e à maturidade digital. Os resultados obtidos demonstraram que uma percentagem significativa do setor, 61%, ainda se encontra no nível 1 e que 27% não atinge sequer este nível, estando no nível 0. Apenas 12% das organizações se encontram

nos níveis superiores de digitalização, sendo distribuídos entre os níveis 2 e 3 com as percentagens de 7% e 5% respetivamente.

Ao analisar o nível de digitalização por região é importante notar que, apesar de representar apenas 6% da população alvo, a região centro apresentou o nível de digitalização mais avançado tendo 50% das empresas no nível 2 ou superior. No caso de Lisboa, os resultados vão de acordo com os obtidos para o panorama geral nacional, este resultado prende-se com o facto de 67% das organizações estar sediada em Lisboa. A região norte, que representa 20% da população conta com 19% das empresas num nível 2 ou superior. Este resultado, quando comparado com o panorama nacional ou a região de Lisboa demonstra um nível de digitalização mais alto, nomeadamente Lisboa que conta com apenas 6% de empresas num nível 2 ou superior.

Os resultados para as regiões do Alentejo e Algarve não foram representativos neste campo dada a baixa representatividade que estes têm, sendo 1% e 2% respetivamente, pelo que é importante notar que não foram consideradas as regiões autónomas dos Açores e Madeira visto não terem representatividade no inquérito. No esquema da figura 2 estão resumidos os resultados obtidos para o nível de digitalização por região.

**Figura 2**  
Nível de digitalização  
face à localização da  
organização.



A dimensão da organização foi caracterizada tendo por base a definição utilizada pelo Instituto Nacional de Estatística que utiliza os limiares do estipulado pelo Decreto-Lei n.º 372/2007, de 6 de novembro considerando somente a variável número de pessoas ao serviço. A distribuição revelou uma predominância de organizações de grande dimensão, com 57%, precedido da média (19%), pequena (13%) e por fim a micro (11%).

Foi ainda analisada a correlação entre o nível de digitalização em FM face à dimensão da organização. Nota-se que a nível nacional 71% empresas de grande dimensão estão no nível 1 de digitalização, e que apenas 9% destas estão no nível 2 ou superior. Porém, os resultados revelam ainda que as empresas de grande dimensão são as que menores percentagens apresentam com empresas a nível 0, cerca de 19%. Por outro lado, as organizações de média dimensão apresentam-se divididas entre nível 0 e nível 1, 45% e 55% respetivamente.

É importante notar que as empresas de micro e pequena dimensão surgem como estando na vanguarda, no que ao nível de digitalização diz respeito. Os resultados demonstram que 21% das pequenas empresas estão no nível 2 de digitalização. Relativamente às organizações micro, 33% destas está num nível 2 ou superior, sendo que 25% está já no nível 3.

Os resultados revelaram que a maior parte do setor utiliza software específico para gestão de edifícios e infraestruturas, os modelos utilizados são em CAD 2D e 3D e a informação é partilhada entre os intervenientes num ambiente comum, assumindo apenas uma colaboração parcial. No entanto, ainda existe uma parcela substancial dos profissionais de FM cujo nível de digitalização ainda depende da utilização de softwares como o *MS Office* para organização e gestão de informação, bem como modelos CAD 2D com partilha de informação em papel ou formato digital. fora de um ambiente comum. Com base nos resultados foi ainda possível verificar que aquando da implementação digital, o setor tende a priorizar o investimento na aquisição de software face à formação técnica de profissionais, aquisição de hardware, marketing ou desenvolvimento de processos colaborativos

No que toca à variável da experiência com ferramentas BIM em contexto FM, a realidade do setor demonstra que na maioria, estas não foram implementadas ou o respondente não tem a noção de terem sido. Verifica-se que em apenas 31% das organizações foram implementadas ferramentas BIM para apoio ao FM. Contudo, é de notar que das entidades que implementaram a metodologia BIM no contexto FM a maioria, 16%, já o fez há mais de três anos.

Importa salientar que, embora a pesquisa revele que 80% dos profissionais da indústria estejam familiarizados com o conceito BIM, a mesma percentagem avaliou o seu conhecimento da metodologia como muito fraco, fraco ou satisfatório, sendo que apenas 3% eram proficientes e 16% tem bons conhecimentos. Estes resultados demonstram que um investimento no método BIM-FM pode representar um valor acrescentado para o crescimento da sua implementação, promovendo um aumento na eficiência e eficácia do FM a nível nacional.

De seguida procurou-se obter o sentimento do setor FM acerca dos principais obstáculos sentidos na implementação de ferramentas BIM nas suas organizações. De acordo com os resultados, os maiores entraves à adoção de ferramentas BIM no contexto FM prende-se com a falta de utilização das mesmas por parte dos parceiros no setor, pelo investimento necessário na implementação BIM e com a falta de oportunidade para uma análise de custo/benefício. Estes três obstáculos representam 69%

das respostas, pelo que no que toca à falta de oportunidade para realização de uma análise de custo/benefício, esta revela uma certa falta de interesse das entidades decisoras na adoção das ditas ferramentas.

Com o objetivo de obter a perceção do desempenho da indústria FM nacional face à realidade europeia, os respondentes foram confrontados com a citação de Steenhuisen *et al.* [16], “A indústria de FM em Portugal não está ao mesmo nível que o resto da Europa. (...) A indústria FM portuguesa deve-se focar em promover consciência sobre o campo de FM”. Apesar da citação datar de 2014, aparenta que o sentimento de baixo desempenho face ao resto da Europa ainda prevalece. Sendo que, 82% dos profissionais concordaram total ou parcialmente com o exposto, tendo apenas 6% não concordado e demais não têm uma opinião formada neste campo.

Não obstante, tal como acontece com qualquer inquérito anónimo, não foi possível confirmar se cada respondente pertencia a uma única entidade ou se existem vários respondentes da mesma entidade. Adicionalmente, uma proporção significativa da amostra concentrou-se em Lisboa, representando 67% das respostas. Houve regiões sem representação no inquérito, como os arquipélagos da Madeira e dos Açores, e zonas com taxas de resposta relativamente baixas, nomeadamente, Alentejo, Algarve e Centro, com 1%, 2% e 6%, respetivamente.

## 5. Considerações finais

A presente pesquisa procurou estabelecer os conceitos associados com a atividade profissional de *Facility Management* (FM) com a metodologia BIM, privilegiando a sinergia entre ambas, BIM-FM. Foram analisados os desenvolvimentos recentes associados a estas áreas e desenvolvido um inquérito com o propósito de avaliar e caracterizar o nível de maturidade digital do setor FM em Portugal, focando a implementação BIM-FM e os obstáculos à sua adoção.

É possível concluir que a perceção do desempenho do setor FM português pelos profissionais é de que este ainda se encontra abaixo do nível médio europeu, tendo 82% dos profissionais do setor concordado com este facto.

Os principais obstáculos à adoção do BIM-FM são o investimento necessário e a falta de utilização pelo restante setor. Assim, a implementação da metodologia BIM nas fases iniciais do ciclo de vida do edifício tem uma importância acrescida visto que o desenvolvimento de modelos BIM em edifícios existentes, apesar de possível e vantajoso é um processo complexo e moroso. A imposição de regulamentação que imponha a adoção de BIM em fase de projeto representa-se como uma solução que promove o crescimento da implementação metodologia até à fase de exploração, como é evidenciado pelos vários exemplos a nível europeu, nomeadamente no Reino Unido.

Compreender a maturidade digital também pode ajudar as empresas a identificar áreas onde podem melhorar as suas capacidades digitais, preparando-as melhor para implementar novidades na gestão do ambiente construído.

## Financiamento

Este projeto é financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), bolsa número 2022.12041. BD e pela unidade de investigação do CERIS (UIDB/04625/2020).

## Referências

- [1] J. K. W. Wong, J. Ge, and S. X. He, "Digitisation in facilities management: A literature review and future research directions," *Automation in Construction*, vol. 92. Elsevier B.V., pp. 312-326, Aug. 01, 2018. doi: 10.1016/j.autcon.2018.04.006.
- [2] Fortune Business Insights, "Facility Management Market Size, Share & Covid-19 Impact Analysis, By Service Type (Hard Services, Soft Services, and Others Services), By Industry Vertical (Healthcare, Government, Education, Military & Defense, Real Estate and Others) and Regional Forecast, 2023-2030," 2023.
- [3] B. Becerik-Gerber, F. Jazizadeh, N. Li, and G. Calis, "Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management," *J Constr Eng Manag*, vol. 138, no. 3, pp. 431-442, Mar. 2012, doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0000433.
- [4] M. Bonanomi, "Building Information Modeling (BIM) and Facility Management (FM)," in *Knowledge Management and Information Tools for Building Maintenance and Facility Management*, Springer International Publishing, 2016, pp. 149-177. doi: 10.1007/978-3-319-23959-0\_6.
- [5] S. Azhar and A. M. Asce, "Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry," 2011.
- [6] S. Lavy, N. Saxena, and M. Dixit, "Effects of BIM and COBie Database Facility Management on Work Order Processing Times: Case Study," *Journal of Performance of Constructed Facilities*, vol. 33, no. 6, Dec. 2019, doi: 10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001333.
- [7] F. Muñoz-La Rivera, J. Mora-Serrano, I. Valero, and E. Oñate, "Methodological-Technological Framework for Construction 4.0," *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 28, no. 2, pp. 689-711, Mar. 2021, doi: 10.1007/s11831-020-09455-9.
- [8] B. Succar, "Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders," *Autom Constr*, vol. 18, no. 3, pp. 357-375, May 2009, doi: 10.1016/j.autcon.2008.10.003.

- [9] R. Vieira, P. Carreira, P. Domingues, and A. A. Costa, "Supporting building automation systems in BIM/IFC: reviewing the existing information gap," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 27, no. 6. Emerald Group Holdings Ltd., pp. 1357-1375, Jun. 22, 2020. doi: 10.1108/ECAM-07-2018-0294.
- [10] ISO 19650-3, "Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM): Information management using building information modelling. Part 3, Operational phase of the assets," 2020.
- [11] EN ISO 41001, *BSI Standards Publication Facility management-Management systems-Requirements with guidance for use (ISO 41001:2018)*. 2018.
- [12] T. Haryanti, N. A. Rakhmawati, and A. P. Subriadi, "The Extended Digital Maturity Model," *Big Data and Cognitive Computing*, vol. 7, no. 1, Mar. 2023, doi: 10.3390/bdcc7010017.
- [13] C. Shaw, F. de Andrade Pereira, C. McNally, K. Farghaly, T. Hartmann, and J. O'Donnell, "Information management in the facilities domain: investigating practitioner priorities," *Facilities*, Apr. 2022, doi: 10.1108/F-02-2022-0033.
- [14] M. Bew and M. Richards, "Bew-Richards BIM maturity model," *BuildingSMART Construct IT Autumn Members Meeting*, 2008.
- [15] MagiCAD, "BIM adoption in Europe – Current state, challenges and a vision of tomorrow," 2020.
- [16] D. Steenhuizen, I. Flores-Colen, A. G. Reitsma, and P. B. Ló, "The road to facility management," *Facilities*, vol. 32, no. 1-2, pp. 46-57, Jan. 2014, doi: 10.1108/F-09-2012-0072.

# Integração da fase de manutenção em modelos BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.35>

Ana Thereza Carvalho<sup>1</sup>, Rui Calejo<sup>2</sup>, José Santos<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *CONSTRUCT-GEQUALTEC, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto (FEUP), Porto, ORCID: 0000-0003-4013-6968*

<sup>2</sup> *CONSTRUCT-GEQUALTEC, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto (FEUP), Porto, ORCID: 0000-0002-2162-8425*

<sup>3</sup> *CONSTRUCT-LABEST, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto (FEUP), Uma – Universidade da Madeira, FCEE – Faculdade de Ciências Exatas e Engenharia, DECG – Departamento de Engenharia e Geologia, Madeira, ORCID: 0000-0002-8134-0925*

## Resumo

A manutenção é essencial para garantir o desempenho dos edifícios, sendo parte fundamental da gestão de instalações e a maior fase do ciclo de vida de um edifício. De facto, ao longo do ciclo de vida de um edifício um grande volume de informações é gerado, no entanto, apenas parte dessa informação é necessária para o desenvolvimento dos processos de gestão da manutenção. A inserção de sistemas de gestão de informação digital, como o BIM, no processo construtivo permite o aprimoramento da qualidade, gestão, conservação e manipulação das informações. No entanto, fatores essenciais para a gestão da manutenção, como a sistematização e padronização das informações, carecem de melhorias, apesar de já existirem sistemas de codificação de informações destinadas à manutenção. O presente artigo tem como objetivo uniformizar e integrar as informações de manutenção num modelo BIM. Os dados de entrada são organizados numa base de dados externa em formato de matriz contendo os principais conteúdos de manutenção, sendo em seguida integrados no modelo BIM com o auxílio de uma ferramenta de programação visual. Os resultados deste estudo fornecem um processo de integração das informações de manutenção no modelo BIM, sendo essas informações a base para o desenvolvimento futuro de planos, cronogramas e manuais de manutenção.

## 1. Introdução

Os edifícios desempenham papel fundamental na vida quotidiana seja através de investimentos, conforto, prestação de serviços ou abrigo. Assim, cada edifício deve ser planeado, projetado, construído e mantido respeitando requisitos básicos de desempenho e durabilidade ao longo da sua vida útil, além de atender às necessidades exigidas pelos utilizadores. Grande parte do fluxo de trabalho no desenvolvimento de projetos envolve análises construtivas e de custos durante, principalmente, as fases de conceção, projeto e construção. Entretanto, os custos e estratégias de atividades relativas à fase de operação e manutenção (O&M), em muitos casos, não são abordados nas etapas iniciais do projeto.

A fase de O&M de edifícios compreende a maior fase do ciclo de vida de um edifício, portanto representa mais de metade dos gastos ao longo da sua vida útil. Esses altos valores podem ser resultado de uma baixa eficiência no planeamento das atividades de gestão da manutenção e, conseqüentemente, afetam o conforto e satisfação dos ocupantes das instalações [1].

A otimização do ciclo de vida do edifício desde as fases construtivas iniciais até a O&M resulta da união dos dados produzidos nesses períodos em repositórios de informações únicos e estruturados, facilitando o rápido acesso a informações precisas e confiáveis. Portanto, como novo paradigma, o *Building Information Modeling* (BIM) surge como uma metodologia que permite a geração e centralização dessas informações necessárias à gestão de um edifício em serviço, apoiando as atividades relativas à O&M. Assim, é possível obter um planeamento aprimorado e padronizado de cada processo de manutenção para cada edifício [2].

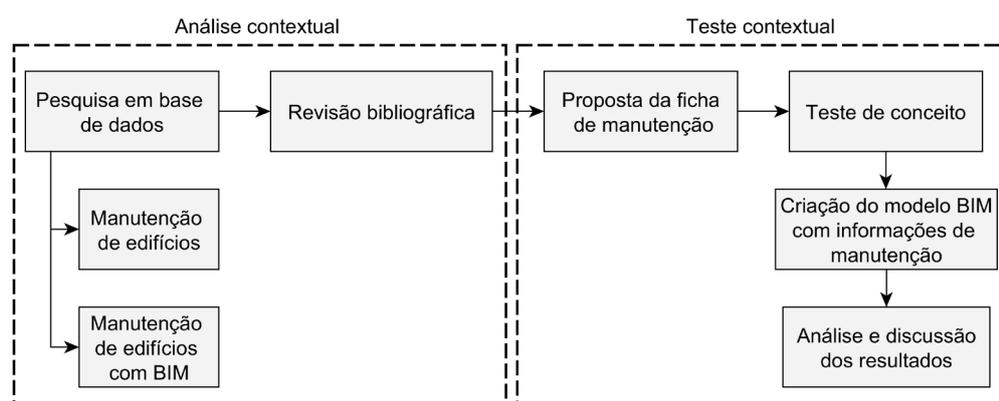
Os *softwares* BIM buscam soluções que permitam aprimorar tanto o processo construtivo quanto a organização, estruturação e sistematização de dados qualitativos e quantitativos do edifício e, conseqüentemente, melhorar a precisão de custos do processo, sobretudo na fase de gestão da manutenção. Entretanto, a definição desses dados ainda é um desafio, pois os modelos BIM devem ser desenvolvidos com as informações reunidas ao longo do ciclo de vida da edificação [3], que muitas vezes estão espalhadas por inúmeros documentos e não possuem uma estrutura formalizada com requisitos BIM [4].

A troca de dados entre as ferramentas BIM é padronizada pelo esquema IFC (*Industry Foundation Classes*), já o COBie, padrão internacional, também pode ser utilizado para a troca de dados na área de gestão de edifícios, incluindo a manutenção [5]. Embora esse padrão para troca de dados exista, a grande quantidade de informações gerada no modelo BIM deve ser estruturada de acordo com as atividades de manutenção definidas. Portanto, esse artigo tem como objetivo uniformizar e integrar as informações de manutenção num modelo BIM. Os dados serão organizados numa base de dados externa em formato de matriz contendo os principais conteúdos de manutenção e, em seguida são integrados no modelo BIM com o auxílio de uma ferramenta de programação visual.

## 2. Metodologia

O tema de pesquisa foi definido a partir da seguinte questão: “Os projetos desenvolvidos através da metodologia BIM possibilitam a extração de dados e documentação que contenham informações proveitosas e/ou essenciais para as atividades de manutenção de edifícios?”. Para responder e compreender à questão uma metodologia de quatro etapas foi aplicada, sendo elas: (i) pesquisa em base de dados, (ii) revisão bibliográfica, (iii) proposta da ficha de manutenção e (iv) teste de conceito.

Os temas da revisão de literatura foram divididos em dois grupos: manutenção de edifícios e utilização do BIM em manutenção de edifícios. Através da revisão de literatura realizada foi possível obter a lacuna de conhecimento entre a definição e extração de dados com base nas atividades de manutenção. Baseado nessas informações, foi desenvolvido um modelo BIM com informações necessárias de acordo com a ficha de manutenção proposta pelos autores. A seguir, no teste de conceito, foram adicionadas informações de manutenção num elemento do edifício para perceber as possíveis interações entre o modelo e a exportação dessas informações. Por último, os resultados obtidos foram analisados e propostas de melhorias no processo foram expostas. A Figura 1 mostra os passos de desenvolvimento deste documento.



**Figura 1**  
Metodologia.

## 3. Revisão bibliográfica

### 3.1. Manutenção de edifícios

A manutenção de edifícios consiste numa atividade técnica administrativa combinada que, através de intervenções, visam evitar a deterioração do edifício, garantir segurança e conforto aos utilizadores e, ainda, atender aos requisitos de desempenho requeridos [6]. O processo de gestão da manutenção envolve medidas estratégicas e, habitualmente, podem ser divididas em dois grandes grupos, a saber: manutenções preventivas ou planeadas e não planeadas. A primeira é realizada seguindo um plano predeterminado, sendo necessário o entendimento completo da situação, objetivando maximizar o desempenho dos elementos do edifício e reduzir falhas e anomalias

durante o uso. Contrariamente, a segunda é realizada sem um plano predefinido e executada para a correção imediata de um problema relatado pelos utilizadores, perda de controle ou quebras inesperadas [7].

Na atualidade, as práticas de manutenção são baseadas principalmente na manutenção corretiva, sendo as ações tardias tomadas após uma reclamação do utilizador ou uma falha não planeada. Já as ações preventivas são limitadas ao nível mínimo de inspeções obrigatórias em instalações críticas devido, principalmente, às ações de recursos humanos e orçamento. Essas práticas resultam em gastos desnecessários, inspeções dispendiosas e aparecimentos de falhas patológicas [8].

Os principais objetivos das atividades de manutenção são retardar patologias, causadas por motivos diversos, além de sustentar e melhorar o desempenho dos edifícios. O período de manutenção compreende naquele entre um reparo e outro, que pode ser aumentado devido a uma gestão da manutenção eficaz. Quando esse período é encurtado, o desempenho e a disponibilidade do edifício são reduzidos e os custos com manutenção são elevados [9]. Sendo assim, as manutenções devem ser planeadas e executadas com periodicidade de acordo com a necessidade de cada elemento do edifício, evitando assim, gastos desnecessários e fornecendo qualidade do ambiente edificado aos utilizadores.

### 3.2. Gestão de instalações

A gestão de instalações (*Facility Management* - FM) envolve estratégias eficazes e processos multidisciplinares que visam fornecer serviços necessários para manter a funcionalidade de um edifício. Nas divergentes abordagens que integram o FM, a manutenção de edifícios é uma das áreas dentro do FM e constitui práticas essenciais para perdurar o desempenho das edificações considerando as exigências estabelecidas pelas organizações [10] e, portanto, é o foco desta pesquisa. De acordo com a NP EN 15221-4 [11], a abordagem da presente pesquisa se enquadra no seguinte subnível da Gestão de Instalação (FM): Espaço e Infraestruturas / Espaço / Operação e Manutenção.

A gestão da manutenção envolve fatores como planeamento, monitorização, envolvimento, controlo e implementação de recursos que visam garantir que os sistemas de valor dos utentes e das partes interessadas sejam entregues com eficácia e eficiência. Além disso, tem como objetivo garantir o desempenho ideal do edifício dentro de um orçamento definido, no menor tempo e com alta qualidade [9].

Os profissionais de manutenção dependem de dados em tempo real, precisos e abrangentes para realizar as atividades diárias de manutenção e dispor de informações confiáveis à administração. Entretanto, a recolha de dados e a inspeção das instalações são, muitas vezes, dispendiosas e os recursos para realizar as atividades são abaixo das necessidades. Portanto, a qualidade e a relevância das atividades de manutenção e inspeções são afetadas, resultando em políticas e estratégias ineficientes [8]. Além disso, a recolha desses dados requer tempo e esforços significativos

quando a documentação é impressa ou eletrónica sem qualquer estruturação. Esse processo tradicional leva a fatores como perda de dados, redundâncias, despesas adicionais com a procura de dados e reinserção manual de dados [12].

### 3.3. Diretrizes de manutenção

A ISO 15686 estabelece diretrizes para previsão e controlo de custos dos edifícios ao longo da sua vida útil com a finalidade de garantir o seu comportamento em serviço. A quarta parte desta ISO, ISO 15686-4:2014, denominada como *Service Life Planning Using Building Information Modeling*, fornece informações e orientações sobre o uso de padrões para a troca de informações para planeamento da vida útil de edifícios e ativos construídos e seus componentes, assim como os dados de suporte necessários. O sistema de informações estruturado deve ser capaz de armazenar e processar as informações, determinar planos de manutenção, suportar interoperabilidade entre softwares diferentes, além de ter utilidade pelos profissionais envolvidos durante o ciclo de vida da edificação. Para isso, a metodologia BIM possui a capacidade de cumprir esses requisitos e, ainda, propõe estruturas de troca de informações utilizando o padrão IFC4 e a especificação de dados COBie [14].

A Norma Europeia EN 13306 objetiva estabelecer os termos mais utilizados em todos os tipos de manutenção e instalações. Além dos termos relacionados aos processos técnicos, a norma também indica definições de atividades como planeamento, gestão e documentação de manutenção, não incluindo conceitos relacionados com processos informáticos e digitais. Já a Norma Europeia EN 13460 determina a documentação necessária que deve ser gerada e entregue para apoiar as estratégias de manutenção. As informações necessárias, associadas à documentação, que cada instalação deve ter no processo de manutenção, tanto na fase operacional quanto na exploração, são expostas por essa norma.

### 3.4. Processos de gestão da manutenção com o BIM

A adoção da metodologia BIM tornou-se fundamental para o setor da construção, pois ela possibilita a integração das etapas do ciclo de vida da edificação, resultando num ambiente dinâmico e colaborativo. Um único modelo BIM integrado pode ser desenvolvido e as informações podem ser inseridas à medida que o projeto avança reunindo, assim, dados essenciais para as atividades de manutenção [17].

A metodologia BIM consiste numa representação digital de um empreendimento através de um conjunto de processos associados e informações que são reunidas e geridas ao longo do ciclo de vida da edificação [2]. O BIM auxilia no processo de intercâmbio de informações entre as fases construtivas de uma edificação e os profissionais envolvidos, na eficiência de recolha de dados, no acesso às informações de construção em tempo real durante a fase de O&M por meio de um modelo central. Entretanto, a implementação do BIM na operação e manutenção de edifícios ainda é um desafio devido à variedade de software existentes no mercado. Por isso, é necessário que cada empreendimento possua um fluxo de trabalho bem definido entre as

partes interessadas e envolvidas no processo construtivo para que a perda de dados seja minimizada [4].

Apesar dos benefícios inerentes ao processo construtivo, o BIM é predominantemente adotado nas fases de projeto e construção devido ao suporte dado à construção, como visualização e gestão da construção. Nessas fases, os profissionais concentram-se na verificação de conflitos e negligenciam a acessibilidade da operação. A adoção do BIM na fase de FM ainda é muito baixa, entretanto, os benefícios dessa integração podem ser significativos devido ao facto de 85% dos custos do ciclo de vida do edifício após a construção poderem ser atribuídos a questões de FM [18]. Dentro das áreas do FM, o BIM vem sendo mais utilizado na fase de O&M dos edifícios, devido à facilidade de acesso aos dados e visualização dos ativos, melhoria da precisão de dados, aumento da eficácia da ordem de trabalho, entre outros [17].

## 4. Modelo proposto

### 4.1. Metodologia de manutenção

Na manutenção, os elementos construtivos de uma edificação podem ser divididos em conjuntos de acordo com sua funcionalidade e/ou comportamento dentro do ambiente construído. Cada conjunto é composto por elementos fonte de manutenção (EFM) que é uma parte de um edifício correspondente à associação de componentes ou elementos com mecanismos de degradação únicos [19].

A manutenção inclui ações técnicas, administrativas e de gestão, que juntas visam manter ou substituir um ativo para que ele possa desempenhar a função para a qual foi construído, ao longo de seu ciclo de vida. As atividades podem variar de simples inspeções visuais a verificação de funções, sendo as mais relevantes: (1) inspeção: procedimentos que visam identificar indicadores do comportamento da edificação [19]; (2) limpeza: garantir a higiene do ambiente e a estética da edificação; ações preventivas: visam avaliar e/ou mitigar a degradação do edifício; (3) proatividade: visa reduzir a deterioração do EFM por meio de intervenções periódicas; (4) medidas corretivas: destinadas a corrigir e eliminar patologias que se encontrem em estado de degradação mais avançado [15]; (5) substituição: consiste na substituição do elemento ou parte dele que apresente anomalias irreparáveis, de forma a retomar sua funcionalidade inicial; e (6) termos de uso que definem como usar um ativo para manter sua função e bom estado.

### 4.2. Ficha de manutenção

As atividades de manutenção envolvem várias estratégias para manter o adequado funcionamento dos elementos fonte de manutenção. As fichas de manutenção auxiliam no controlo das atividades desenvolvidas nos EFMs e podem variar de acordo com cada organização. Todavia, as fichas devem contemplar informações mínimas e suficientes para que o gestor do edifício possa melhor realizar as atividades de

manutenção, sendo elas: (i) pormenor dos procedimentos a serem realizados; (ii) descrição dos meios e técnicas que devem ser usadas para executar os procedimentos; (iii) escolha dos agentes, técnico ou utente, responsáveis pela execução dos procedimentos; (iv) definição da periodicidade dos procedimentos; e (v) custo de execução dos procedimentos. Além disso, cada EFM deve possuir a sua ficha, e podem ser agrupados quando os elementos exercem a mesma função dentro da edificação, com as informações organizadas e detalhadas.

A Tabela 1 mostra um modelo de ficha de manutenção organizada em formato de uma matriz contendo as 6 principais atividades de manutenção e a descrição das informações necessárias para realização das atividades. A ficha foi dividida em duas secções: a primeira destina-se à identificação do elemento fonte de manutenção; e a segunda parte abrange a descrição das atividades de manutenção que serão desenvolvidas no EFM.

Tabela 1: Modelo Ficha de Manutenção

Ficha de Manutenção					
Nome (categoria)					
ID do elemento					
Tipo					
Nível					
Material					
<b>Operação</b>	<b>Parte do EFM</b>	<b>Atividade</b>	<b>Responsável</b>	<b>Ocorrência</b>	<b>Custo</b>
Inspeção					
Pró-ação					
Correção					
Substituição					
Termos de utilização					

### 4.3. Fluxo de informações e base de dados adotada

O *software* de modelação BIM tem uma elevada capacidade de organizar e armazenar informações ao longo das fases de vida do edifício, sem perda significativa de informação. No entanto, o tamanho e a complexidade da edificação influenciam diretamente na quantidade de dados armazenados dentro do *software* de modelação BIM, resultando em sobrecarga de dados no *software*. Portanto, assim como a solução adotada pelo COBie, a base de dados inicial e final no processo de troca de informações de manutenção será o *software* Microsoft Excel.

As informações e os conteúdos de manutenção serão organizados no Excel (no futuro fornecidos pelo fabricante) e, então importadas para o modelo BIM desenvolvido. Posteriormente, na fase de manutenção, os dados serão exportados para a outra folha de cálculo do Excel apenas para mostrar a possibilidade da extração de dados do modelo BIM para outro *software*. Assim, os gestores de manutenção ou utilizadores finais poderão aceder à ficha de manutenção numa base de dados externa, mesmo

que esta esteja ligada ao modelo desenvolvido em BIM. Esses dados (diretamente do modelo BIM ou já em folhas Excel) podem ser utilizados posteriormente para a elaboração do Plano e Cronograma de Manutenção, entre outros documentos. A interação entre o modelo BIM e as tabelas, desenvolvida no *software* Microsoft Excel, será realizada através do Dynamo, ferramenta de programação visual nativa nas versões superiores ao Revit 2018, exceto nas versões Revit LT.

## 5. Teste de conceito

### 5.1. Modelo BIM

O modelo BIM de estudo é uma residência unifamiliar de, aproximadamente, 50 m<sup>2</sup> de área construída, composta por dois quartos, uma casa de banho, uma cozinha e uma sala. Uma única categoria do modelo, no caso a porta, foi escolhida para a verificação da viabilidade do fluxo de informação proposto. Dentro da categoria escolhida, existem 5 portas que se diferenciam por tamanhos e materiais.

O projeto foi desenvolvido com o objetivo de contemplar o nível de informações de manutenção necessário. Na criação do modelo, utilizaram-se famílias paramétricas nas quais foram acrescentadas informações, caso não possuísse, nos seguintes parâmetros: Família, Tipo, Nível Base e Material. A organização dessa informação dentro do modelo BIM é o que possibilita a interoperabilidade entre o Revit e o Excel, devido ao Dynamo buscar os parâmetros de maneira específica.

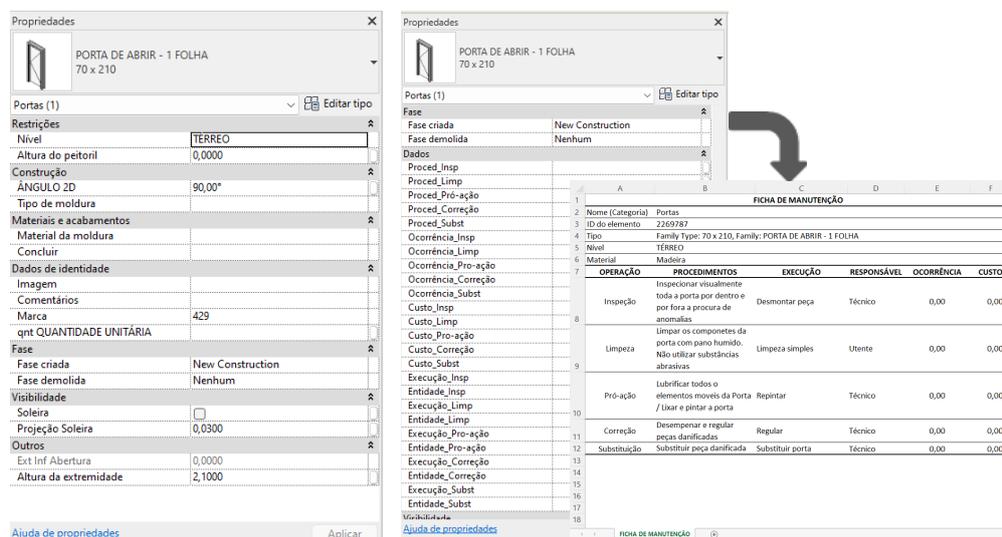
### 5.2. Base de dados em Excel

A ficha de manutenção com as informações relativas à manutenção, que não fazem parte dos parâmetros nativos do modelo BIM, foram organizadas e armazenadas no *software* Microsoft Excel. Apesar de ser uma ferramenta que possui várias informações do modelo BIM, o Revit é um software de modelação. Portanto, não possui e, dependendo da complexidade do modelo, não suporta a inserção de grande quantidade de informações de manutenção. Por esse motivo, o Excel foi escolhido como base de dados inicial e final para armazenar a informação de manutenção. A folha Ficha de Manutenção contempla o modelo como disposto na Tabela 1 contendo os conteúdos de manutenção. Essa informação, preenchida no Excel, será importada para o Revit para o preenchimento dos parâmetros criados.

### 5.3. Rotinas Dynamo

Foram desenvolvidas três rotinas no Dynamo sendo a primeira para a criação dos parâmetros (de acordo com a Tabela 1), a segunda para a importação da informação dos parâmetros e a terceira para a extração dos parâmetros criados e outros parâmetros nativos do Revit para a identificação do elemento fonte de manutenção.

A primeira rotina foi dividida em três passos. O primeiro passo, foi definido para a seleção do arquivo Excel para acesso às informações necessárias para a criação dos parâmetros. O segundo passo envolveu a organização das listas que foram importadas no passo anterior. O terceiro passo foi a criação dos parâmetros com base nas listas organizadas anteriormente. Três tipos de parâmetros foram utilizados, sendo eles: parâmetros de texto utilizados para os parâmetros que necessitam apenas de caracteres do tipo texto para o preenchimento; intervalo de tempo para os parâmetros que envolvem tempo; e moeda para os parâmetros que envolvem o custo das atividades a serem realizadas. Foram criados um total de 25 parâmetros em cada instância da categoria portas. A segunda rotina também foi dividida em três etapas, sendo a primeira e a segunda desenvolvida da mesma maneira que as duas etapas da primeira rotina. Diferenciando-se apenas na seleção da lista com as informações para o preenchimento dos parâmetros. A terceira etapa, foi o preenchimento dos parâmetros criados de acordo com as informações das atividades de manutenção dispostas na ficha de manutenção. A Figura 2 mostra o resultado dessas duas rotinas.



**Figura 2**  
Criação de parâmetros e preenchimento da tabela.

A terceira rotina foi elaborada para mostrar a extração das informações dos parâmetros criados para uma nova folha Excel e foi dividida em três passos. O primeiro passo foi a seleção da lista dos parâmetros criados na folha Base de Dados do arquivo Excel, da mesma maneira como descrito no primeiro e segundo passo da primeira rotina desenvolvida. O segundo passo foi definido para a escolha do EFM e seleção de seus parâmetros através do número ID. O terceiro passo foi a extração das informações dos parâmetros para uma nova folha Excel.

## 6. Conclusões

O presente artigo buscou uniformizar e integrar as informações de manutenção em modelos BIM, baseadas em seis principais atividades de manutenção: inspeção, limpeza, pró-ação, correção, substituição e termos de utilização. Essas informações foram organizadas em formato de matriz numa base de dados externa e, então, integradas no modelo BIM através do desenvolvimento de rotinas em programação visual no Dynamo. Através das rotinas foi possível criar novos parâmetros nos EFM, importar e exportar informações de manutenção no modelo BIM. As informações exportadas podem resultar em documentos de manutenção devidamente organizados e formatados, em vez de um simples arquivo Excel, sendo a base para planos, manuais e cronogramas de manutenção. De acordo com os objetivos alcançados no presente artigo, trabalhos futuros também podem considerar a aplicação dos conteúdos de manutenção em outros EFM do edifício para avaliar a sua viabilidade prática. A intenção geral, entretanto, é verificar a capacidade de gestão da informação no modelo BIM desenvolvido.

## Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por: Financiamento Base – UIDB/04708/2020 e DOI 10.54499/UIDB/04708/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04708/2020>) da Unidade de Investigação CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

## Referências

- [1] Y. Bouabdallaoui, Z. Lafhaj, P. Yim, L. Ducoulombier, and B. Bennadji, “Natural language processing model for managing maintenance requests in buildings,” *Buildings*, vol. 10, no. 9, pp. 1-12, 2020, doi: 10.3390/BUILDINGS10090160.
- [2] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, 3rd ed. Hoboken: Wiley. ISBN: 978-1-119-28753-7, 2018.
- [3] S. N. Naghshbandi, “BIM for Facility Management: Challenges and Research Gaps,” *Civ. Eng. J.*, vol. 2, no. 12, pp. 679-684, 2016, doi: 10.28991/cej-2016-00000067.
- [4] H. B. Cavka, S. Staub-French, and E. A. Poirier, “Developing owner information requirements for BIM-enabled project delivery and asset management,” *Autom. Constr.*, vol. 83, no. September 2016, pp. 169-183, 2017, doi: 10.1016/j.autcon.2017.08.006.

- [5] Y. C. Lee, C. M. Eastman, and W. Solihin, "Rules and validation processes for interoperable BIM data exchange," *J. Comput. Des. Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 97-114, 2021, doi: 10.1093/jcde/qwaa064.
- [6] S. S. Liu and M. F. A. Arifin, "Preventive maintenance model for national school buildings in indonesia using a constraint programming approach," *Sustain.*, vol. 13, no. 4, pp. 1-25, 2021, doi: 10.3390/su13041874.
- [7] N. Dzulkifli, N. N. Sarbini, I. S. Ibrahim, N. I. Abidin, F. M. Yahaya, and N. Z. Nik Azizan, "Review on maintenance issues toward building maintenance management best practices," *J. Build. Eng.*, vol. 44, no. October 2020, p. 102985, 2021, doi: 10.1016/j.jobe.2021.102985.
- [8] Y. Bouabdallaoui, Z. Lafhaj, P. Yim, L. Ducoulombier, and B. Bennadji, "Predictive maintenance in building facilities: A machine learning-based approach," *Sensors (Switzerland)*, vol. 21, no. 4, pp. 1-15, 2021, doi: 10.3390/s21041044.
- [9] A. L. Olanrewaju, S. H. Tee, P. I. Lim, and W. F. Wong, "Defect management of hospital buildings," *J. Build. Pathol. Rehabil.*, vol. 7, no. 1, 2022, doi: 10.1007/s41024-021-00159-6.
- [10] D. Besiktepe, M. E. Ozbek, and R. A. Atadero, "Identification of the criteria for building maintenance decisions in facility management: First step to developing a multi-criteria decision-making approach," *Buildings*, vol. 10, no. 9, 2020, doi: 10.3390/BUILDINGS10090166.
- [11] NP EN 15221-4, "Facility Management – Part 4: Taxonomia, Classificação e Estruturas em Facility Management," 2011.
- [12] S. T. Matarneh, M. Danso-Amoako, S. Al-Bizri, M. Gaterell, and R. Matarneh, "Building information modeling for facilities management: A literature review and future research directions," *J. Build. Eng.*, vol. 24, no. October 2018, p. 100755, 2019, doi: 10.1016/j.jobe.2019.100755.
- [13] "International Organization for Standardization. Building construction: service life planning: ISO 15686:2014 – Geneva : ISO. 2014."
- [14] ISO15686-4:2014, "Building Construction. Service Life Planning. Part 4: Service Life Planning using Building Information Modelling".
- [15] EN13306, "Maintenance Terminology." European Standard. CEN (European Committee for Standardization), Brussels, 2017.
- [16] EN13460, "Maintenance – Documentation for maintenance," 2009.
- [17] E. A. Pärn, D. J. Edwards, and M. C. P. Sing, "The building information modelling trajectory in facilities management: A review," *Autom. Constr.*, vol. 75, pp. 45-55, 2017, doi: 10.1016/j.autcon.2016.12.003.

- [18] R. Jang and W. Collinge, "Improving BIM asset and facilities management processes: A Mechanical and Electrical (M&E) contractor perspective," *J. Build. Eng.*, vol. 32, no. April, p. 101540, 2020, doi: 10.1016/j.job.2020.101540.
- [19] R. M. G. C. Rodrigues, "Gestão de edifícios : Modelo de Simulação Técnico-económica.," PhD Thesis. Porto: Faculty of Engineering of University of Porto, 2001.

# Desenvolvimento de ferramenta de realidade virtual para navegação 3D e edição básica de modelos BIM em formato IFC

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.36>

**Paulo Teles<sup>1</sup>, José Santos<sup>2</sup>,  
Sergi Bermúdez i Badia<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Universidade da Madeira, Faculdade de Ciências Exatas e Engenharia,  
Departamento de Engenharia Informática e Design de Media Interativos.  
ORCID: 0009-0000-9844-5830*

<sup>2</sup> *Universidade da Madeira, Faculdade de Ciências Exatas e Engenharia,  
Departamento de Engenharia e Geologia. CONSTRUCT-LABEST,  
Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.  
ORCID: 0000-0002-8134-0925. Email: jmmns@fe.up.pt*

<sup>3</sup> *Universidade da Madeira, Faculdade de Ciências Exatas e Engenharia,  
Departamento de Engenharia Informática e Design de Media Interativos,  
Madeira N-LINCS, NOVA Laboratory for Computer Science and Informatics,  
Universidade da Madeira. ARDITI. ORCID: 0000-0003-4452-0414*

## Resumo

A utilização da tecnologia de realidade virtual (RV) de forma totalmente imersiva, principalmente na fase de projeto, poderá vir a desempenhar um papel relevante no futuro assim que os atuais entraves (tecnológicos, de implementação e custo) o permitam. Uma das limitações atuais prende-se com a passagem de modelos BIM no formato IFC para ambientes RV. Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta RV que lê ficheiros IFC, permite a consulta de informação, a realização de algumas tarefas de edição básica, a navegação e a geração de vídeos. Ou seja, além de ser uma ferramenta RV, controlada com dispositivos próprios de RV (capacete e comandos manuais), é simultaneamente um editor de modelos BIM no formato IFC. A ferramenta foi posteriormente avaliada qualitativamente e quantitativamente segundo quatro critérios normalizados (usabilidade, esforço, imersividade em ambiente virtual e desempenho). Os resultados foram bastante positivos, mostrando que a ferramenta ofereceu uma experiência intuitiva, cativante e envolvente.

## 1. Introdução

O setor AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção, Operação e Manutenção) está atualmente a passar por uma transformação significativa impulsionada pelas tecnologias digitais, assistindo-se assim a uma mudança de paradigma na forma de trabalhar, marcando assim o início da época Construção 4.0 [1]. A integração das tecnologias digitais no setor AECO é crucial devido à vasta quantidade de dados gerados, criando oportunidades para melhorar a tomada de decisões e aproveitar as tendências futuras [2]. No entanto, a difusão da inovação digital no setor AECO tem sido descrita como múltipla e parcial, tendo um processo de implementação classificado como não linear [3]. Uma nova camada digital está a ser criada, começando na fase de projeto, passando para a fase de obra e continuando durante a fase de utilização, criando assim um ecossistema em evolução permanente [4]. Além disso, a prontidão do setor AECO para a transformação digital é um aspeto crítico que requer adequada sensibilização e compreensão do impacto da tecnologia nos processos e atividades de construção [5].

Uma das tecnologias digitais com enorme potencial é a Realidade Virtual (RV). Por exemplo, na medicina é usada em aplicações relacionadas com anatomia, cirurgia intraoperatória e reabilitação pós-operatória, demonstrando o seu potencial no campo médico [6]. Também no setor AECO, as ferramentas de RV ganharam importância significativa. Algumas das aplicações foram desenvolvidas para melhorar a visualização e a revisão do projeto e a comunicação com as partes interessadas, melhorando assim os resultados do projeto [7]. De igual forma, as aplicações da RV na indústria da construção incluem a sua utilização na melhoria do ambiente de venda e da experiência de compra no mercado imobiliário, afetando particularmente as decisões de compra de habitação pelos compradores, especialmente em regiões onde o sistema de pré-venda é comum [8]. A pesquisa também indica que os setores residencial e comercial foram os que mais adotaram as ferramentas de RV, a par dos setores institucionais e de transporte, mostrando um crescimento significativo na sua adoção [9].

As aplicações ou ferramentas existentes fizeram avanços significativos ao permitir a tradução de ficheiros BIM em experiências imersivas de realidade virtual. Essas ferramentas maioritariamente leem dados ficheiros BIM proprietários e transformam em ambientes de RV cativantes. Com exceção de algumas aplicações para a *web*, que usam o framework da *webXR* com o *web-ifc*, uma lacuna perceptível persiste nestes avanços quanto a aplicações não *web* que utilizem diretamente o formato IFC (*Industry Foundation Classes*) para criar experiências de RV. No paradigma atual, essas aplicações não *web* não possuem a capacidade de integração direta de IFC para RV, agravada ainda mais pela ausência de ferramentas que permitam a edição contínua do conteúdo de ficheiros IFC. Esta lacuna indica a necessidade de avanços na tecnologia para superar a divisão entre o BIM e a RV.

Para a visualização dos modelos BIM em RV a colaboração entre ficheiros OBJ (*Wavefront Object*) e MTL (*Material Template Library*) é crucial. Os ficheiros OBJ servem como um padrão para representação de geometria 3D, contendo informações sobre

vértices, texturas e faces. Complementando o OBJ, os ficheiros MTL definem materiais, especificando propriedades como cor, refletividade e transparência. No entanto, para modelos BIM é necessário também incluir informação específica de área da engenharia civil e construção nos objetos, sendo uma das razões pelo qual a tecnologia RV ainda tem aplicação limitada no setor AECO. Habitualmente isto é conseguido diretamente no software proprietário de modelação e não com recurso aos ficheiros IFC [10].

Assim, de modo a ultrapassar algumas das limitações acima referidas, neste artigo apresenta-se o desenvolvimento e teste de uma ferramenta que importa ficheiros IFC para ambiente de RV, de modo a permitir realizar diversas tarefas típicas de RV e a edição simples do modelo BIM, permitindo posteriormente a gravação das alterações novamente em IFC. Deste modo, contribui para fortalecer a presença do BIM e os seus modelos abertos em ambientes imersivos RV.

Para tal, na Secção 2 são descritas as etapas de desenvolvimento da ferramenta (desde as especificações iniciais até às funcionalidades essenciais), na Secção 3 aborda-se a avaliação da ferramenta (baseada em avaliações qualitativas e quantitativas) e na Secção 4 apresentam-se as conclusões deste trabalho.

## 2. Desenvolvimento da ferramenta

### 2.1. Especificações, análise preliminar e fluxos BIM-RV

O principal objetivo da ferramenta RV a desenvolver foi estabelecer uma comunicação bidirecional eficiente entre ambientes de RV e BIM, bem como ser aplicado numa das áreas da indústria AECO, e testado com utilizadores. Para tal efeito, foi feita uma análise preliminar que abordou diferentes hipóteses e caminhos possíveis para alcançar esta integração bidirecional, tendo em conta as diversas tecnologias disponíveis, as suas implicações, desafios e oportunidades que surgiram durante o desenvolvimento desta ferramenta.

A primeira opção foi elaborar uma API no Revit, em que nela, a partir de um modelo na ferramenta, era possível a extração do modelo em ficheiro OBJ, visto que este tipo de ficheiro é suportado por ferramentas de RV, como o *Unity* [11] em termos de modelos 3D. Contudo, esta opção revelou-se inviável devido à ausência de informações dos objetos além da geometria no modelo em RV. Isso representaria um desafio na importação da RV para o Revit. Além disso, essa opção implicaria o uso de software e formatos de arquivo proprietários. Dessa forma, a estratégia de comunicação bidirecional evoluiu para a adoção do formato de arquivo IFC. Esse formato não apenas contém a geometria dos objetos, mas também inclui informações sobre seus materiais e detalhes específicos dos objetos. Com essa abordagem, o uso do Revit deixaria de ser uma necessidade, sendo suficiente apenas o uso do arquivo IFC.

No entanto, o ficheiro IFC não é compatível com as ferramentas de RV, pelo que foi necessário converter o mesmo em ficheiros compatíveis, pensando em termos de geometria, materiais e informação. Relativamente à geometria e materiais, foram

ponderadas possíveis abordagens, como DXF, OBJ, 3DS, DAE e FBX. Após uma análise comparativa, a escolha recaiu sobre ficheiro do tipo OBJ, por permitir manter a geometria, hierarquia, textura e materiais dos objetos com o auxílio do tipo do ficheiro MTL, que complementa este ficheiro em termos de materiais. No que diz respeito à gestão da informação, que apresentou desafios significativos devido à estrutura STEP utilizada pelo arquivo IFC, que exigia a consulta de várias linhas para obter as informações de um objeto, a solução adotada envolveu o uso da ferramenta *IfcConvert*. Esta ferramenta é capaz de converter o arquivo IFC em três formatos distintos: os dois já mencionados anteriormente, OBJ (para a geometria) e MTL (para os materiais), e adicionalmente um terceiro arquivo em formato XML (Extensible Markup Language). Este último contém as informações de cada objeto, e devido à natureza XML, proporciona uma leitura mais acessível e facilitada dos dados. Deste modo a ferramenta *IfcConvert* emerge como a escolha ideal para a importação em ferramentas de RV como o *Unity*. Após ser implementada no *Unity* a funcionalidade de importar cada ficheiro no ambiente virtual, o modelo fica completo em termos de geometria, materiais e informação adicional.

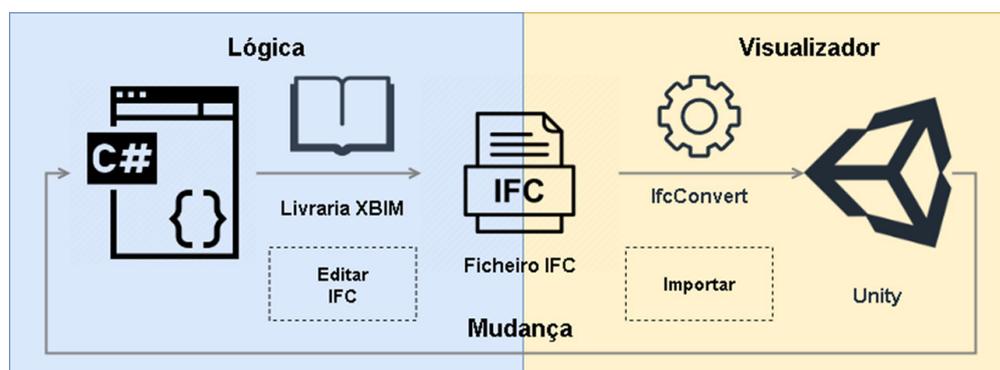
A troca de informações ocorre por meio de uma *pipeline* que separa os dados em formato IFC e RV, estabelecendo uma conexão através da leitura e modificação do arquivo IFC. No contexto do BIM, a interação é realizada por meio da conversão do arquivo IFC para formatos compreensíveis pelo *Unity*. Isso permite carregar todas as informações no modelo virtual. Após efetuar uma alteração no modelo, a biblioteca *XBIM* é usada. Essa biblioteca é reconhecida pela sua capacidade de interagir com arquivos IFC, possibilitando a edição, a obtenção de informações e a gravação de alterações por meio de código C#, a linguagem adotada pelo *Unity*. Uma vez que a mudança é aplicada, o modelo é recarregado, incorporando as alterações efetuadas.

## 2.2. Criação da ferramenta

A versão inicial da ferramenta foi desenvolvida para o uso convencional do teclado e do rato, esta versão desempenhou um papel crucial como protótipo. Esta abordagem permitiu a criação e afunilamento das funcionalidades essenciais da ferramenta, fornecendo bases valiosas para a versão em RV. Durante esta fase, os esforços foram mais concentrados não tanto na usabilidade, mas sim na integração dos ficheiros IFC (descrita na Secção 2.1). A versão em realidade virtual representou uma evolução significativa, capitalizando os esforços do protótipo. A transição para a realidade virtual incidiu-se na conversão do uso do teclado e do rato, para os controladores do HMD (*Head-Mounted Display*) com as suas respetivas funções e controlos. Esta versão, não apenas expandiu a acessibilidade e usabilidade da ferramenta, mas também aprimorou significativamente as funcionalidades e as devidas edições do ficheiro IFC. As duas versões foram implementadas usando a plataforma de desenvolvimento *Unity*. Com a colaboração de dois profissionais provenientes da área da informática e da área da construção respetivamente, foi possível abordar problemas técnicos, melhorar as funcionalidades da ferramenta, e considerar as preferências do utilizador final, garantindo o alinhamento desta ferramenta na área da indústria AECO e garantindo a sua usabilidade.

A metodologia adotada concentrou-se entre o *Unity* e o ficheiro IFC, em que o *Unity* só serviria de visualizador e como origem das mudanças a serem realizadas no ficheiro IFC, e após alguma mudança o modelo é recarregado no *Unity* novamente. Esta metodologia é bidirecional, mas age como um fluxo no sentido horário como é possível ver na Figura 1. A ferramenta *IfcConvert* é utilizada para a comunicação na direção IFC->*Unity* e a biblioteca *XBIM* para editar ficheiros IFC através de scripts em código C# e para realizar a direção *Unity*->IFC.

Para converter todas as informações do IFC para o *Unity*, em termos de simplicidade, eficiência e tempo, já que fazer um conversor do zero levaria uma quantidade considerável de tempo, a ferramenta *IfcConvert* foi a opção.



**Figura 1**  
Fluxograma do funcionamento da ferramenta.

### 2.3. Implementação de funcionalidades

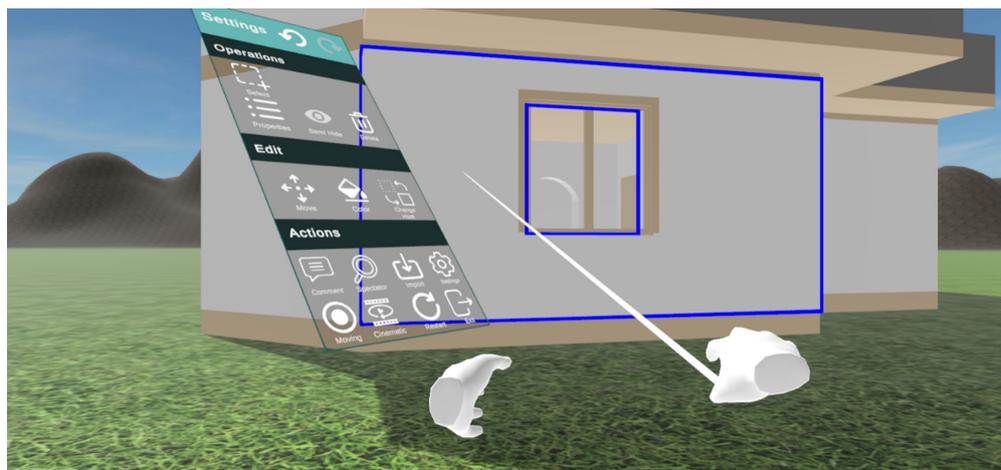
A ferramenta RV foi feita para trabalhar com equipamentos de RV que são comumente disponíveis. Neste caso nos testes desta ferramenta foram usados os *Oculus Rift S*. Em termos de software, como já foi referido foi usado o *Unity* como motor de jogo, com a adição de alguns plugins providenciados pela loja de *assets* que o mesmo contém. Os plugins usados foram:

- *VRKeys* [12]: Um plugin que simula um teclado físico para o ambiente de RV visto que o uso do teclado convencional, não seria opção;
- *VR Capture* [13]: De modo a realizar a gravação de vídeo na vista do utilizador e cinematográfica;
- *Quick Outline* [14]: Para fazer o contorno à volta dos objetos selecionados;
- *RunTime File Browser* [15]: Age como o explorador de ficheiros para o Windows, o mesmo foi adaptado para o uso na Realidade Virtual;
- *Runtime OBJ Importer* [16]: Importador em *runtime* de modelos no tipo de ficheiro OBJ.

As funcionalidades desenvolvidas na ferramenta, atuaram como protótipo na versão de teclado e rato, com a finalidade de serem melhoradas e adaptadas para a versão RV. As funcionalidades desenvolvidas para a ferramenta encontram-se descritas na Tabela 1. As funcionalidades na versão para computador em comparação com a versão RV são as mesmas, com a exceção do teletransporte. Na Figura 2 apresenta-se uma imagem da utilização da ferramenta desenvolvida.

**Figura 2**

Exploração do modelo 3D importado através de um ficheiro IFC.



### 3. Avaliação da ferramenta

#### 3.1. Metodologia de avaliação

Na avaliação da ferramenta foram realizadas avaliações qualitativas e quantitativas, através de respostas dos participantes e de testes de usabilidade, respetivamente. Nesta avaliação participaram 15 voluntários com idades entre 18 e 37 anos. Os participantes foram divididos em várias sessões.

Tabela 1: Funcionalidades existentes na ferramenta

Nome	Descrição
Importação do ficheiro IFC	Sistema de ficheiros semelhante ao Explorador de Ficheiros do Windows, com atalhos rápidos para a importação do IFC base
Teletransporte	Permite teletransporte para melhor locomoção no modelo virtual, ativado ou desativado por um raio no controlador esquerdo na área azul.
Propriedades objeto	Visualização e edição de propriedades e quantidades, sendo um teclado virtual para a edição
Mudança visibilidade	Normal (padrão); Semi-invisível (útil para visualizar dentro de objetos como paredes); Invisível (totalmente invisível, mas sujeito a colisões)
Seleção de objetos	O contorno em azul destaca o objeto escolhido. Existem duas formas de seleção: manual, e automática com o auxílio a um painel de seleção
Mudança de cor de objeto(s)	Sistema de paleta que permite escolher o tom de cor e visualizar a representação do material
Criação de um BFC	Formulário com informação sobre a ocorrência com uma captura de ecrã como anexo
Mover objetos	Mover elementos com o gesto de arrasto, elementos pais arrastam os filhos e os filhos movem-se independentemente
Importação de objetos	Sistema de ficheiros semelhante ao Explorador de Ficheiros do Windows, com atalhos rápidos para a importação de IFCs secundários
Mudança de elemento pai	Alteração do elemento pai de um elemento filho, por exemplo uma parede e uma porta respetivamente
Eliminação	Remoção única ou múltipla de elementos do modelo
Desfazer / Refazer	Desfazer ou refazer ação
Gravar um vídeo	Gravação de vídeos da vista do utilizador, ou cinemática à volta do modelo
Outras funcionalidades	Exemplo: operações de edição objetos primitivos (blocos), como soma ou subtração

Para caracterizar os voluntários, a sua experiência prévia foi avaliada de acordo com vários critérios, incluindo a área de formação, experiência com realidade virtual ou jogos, e contacto prévio com controlos analógicos. De modo a obter uma avaliação o mais rigorosa possível de cada utilizador nos diferentes contextos, foram usados vários questionários validados, nomeadamente: SUS (*System Usability Scale*), NASA *Task Load Index* (NASA-TLX), *Presence Questionnaire*, e o ITC-SOPI.

O SUS é um questionário amplamente utilizado para avaliar a usabilidade de aplicações, produtos ou serviços. Consiste numa escala de 0 a 100, onde os participantes atribuem pontuações que indicam o nível global de usabilidade percebida [17]. O NASA *Task Load Index* é uma ferramenta que avalia a carga de trabalho percebida pelos utilizadores em tarefas específicas, usando parâmetros como esforço mental, esforço física e desempenho [18]. O *Presence Questionnaire* mede o sentimento de presença ou imersão em ambientes virtuais, avaliando a experiência subjetiva do utilizador durante as interações digitais [19]. O ITC-SOPI é um questionário concebido para avaliar a satisfação contínua dos utilizadores com os sistemas de informação online, abrangendo aspetos como o desempenho, a facilidade de utilização e a perceção da utilidade ao longo do tempo [20]. A Tabela 2 apresenta o procedimento seguido na avaliação da ferramenta.

Tabela 2: Procedimento utilizado na avaliação da ferramenta

Tarefa	Descrição
Pré-questionário	Informação dos participantes
Apresentação	Introdução à ferramenta; Explicação dos objetivos; Informação de como irá decorrer o teste
Treino	Treino Livre; Treino rígido
Tarefas	1 – Movimento / Exploração; 2 – Consultar propriedades; 3 – Edição; 4 – Importação; 5 – Realização de um vídeo
Pós-questionário	SUS, <i>Presence Questionnaire</i> , NASA-TLX, ITC-SOPI
Apreciações finais	Informação crítica e reflexões dos participantes

### 3.2. Resultados e discussão

Da análise qualitativa concluiu-se que as pessoas que já tinham experiência anterior com jogos, especialmente com controlos analógicos, concluíram as tarefas mais rapidamente e sem dificuldades. Porém, houve dificuldades para quem não possuía experiência com controladores analógicos. Apesar disso, pessoas inexperientes com jogos conseguiram realizar todas as tarefas e consideraram a ferramenta divertida e envolvente.

As tarefas que os participantes encontraram mais dificuldades ao longo dos testes foram encontrar valores de propriedades, digitar no teclado virtual e alterar valores nos modelos. Em termos de enjoo a maioria dos participantes não sentiu este desconforto, com exceção de dois participantes. O enjoo pode ter sido causado por um atraso entre o movimento da cabeça e a rotação da câmara na aplicação, ou pode ter

vido causado durante o processo de carregamento do modelo em que a aplicação fica em pausa.

Relativamente às análises quantitativas, os resultados dos questionários são mostrados na Tabela 3. Em relação SUS as classificações variaram de 42,5 a 92,5, com média de 72,5, considerada como “Bom” nos valores médios normativos. Os resultados positivos do ITC-SOPI demonstraram que os participantes se sentiram imersivos e presentes no ambiente virtual e que seus impactos foram um pouco negativos. O NASA-TLX avaliou a esforço total de trabalho em relação às: carga mental, desempenho, esforço (mental e físico), esforço físico, níveis de frustração, peso temporal. Os participantes geralmente relataram baixos níveis de frustração e dificuldade razoável das tarefas, apesar de apresentarem uma carga mental importante. O *Presence Questionnaire* revelou resultados positivos em mediu atributos como realismo, qualidade da interface e capacidade de examinar e agir no ambiente. Os participantes preferiram a capacidade de examinar e explorar o ambiente.

Em suma, os resultados positivos das avaliações qualitativas e quantitativas mostraram que o projeto ofereceu uma experiência natural, cativante e envolvente. No geral, os participantes expressaram satisfação com a utilidade da ferramenta e houve poucos elementos negativos identificados. A avaliação despertou melhorias, garantindo um sistema mais completo e operacional tanto do ponto de vista do utilizador, como das funcionalidades disponíveis para os utilizadores finais. Nenhum erro funcional ou técnico foi identificado durante os testes de usabilidade.

Tabela 3: Resultados dos questionários na avaliação quantitativa

Questionário	Alcance da média	Escala	Resultado
SUS	0-100	Média resultante	72.5
ITC-SOPI	0-5	Presença espacial	4.1
		Envolvimento	4.3
		Natural	4.0
		Efeitos negativos	2.5
<i>Presence Questionnaire</i>	0-10	Realismo	5.7
		Possibilidade de examinar	6
		Qualidade da interface	3.8
		Possibilidade de agir	4.5
NASA <i>Task Load Index</i>	-	Carga mental	133.7
		Desempenho	112.3
		Esforço (mental e físico)	87.0
		Esforço físico	56.0
		Níveis de frustração	26.7
		Peso temporal	25.3

## 4. Conclusões

A convergência entre o BIM e a RV representa um avanço significativo na eficiência e colaboração no setor da construção. A ferramenta apresentada neste artigo, ao permitir a importação direta de ficheiros IFC no ambiente virtual e a capacidade de realizar modificações diretamente no modelo, abre portas para uma integração mais

fluida, interpolar e precisa entre as duas tecnologias. Este elo entre o BIM e a RV não apenas simplifica os fluxos de trabalho, economizando tempo e recursos, mas também potencializa a tomada de decisões informadas ao proporcionar uma visualização imersiva e interativa dos projetos. À medida que a indústria avança em direção à digitalização completa, a integração sinérgica entre BIM e RV emerge como uma ferramenta indispensável para impulsionar a inovação e a eficácia no ciclo de vida dos projetos de construção nas diferentes fases. Ainda mais importante, é a adoção de formatos abertos como o IFC que suportem este processo.

Em termos de desafios, a transição das funcionalidades convencionais do teclado e rato para a versão virtual, exigiu uma redefinição cuidadosa das mesmas, bem como a sua melhoria, pelo facto de serem agora dependentes dos controladores dos HMD. A bem-sucedida implementação da importação direta de ficheiros IFC simplificou a transferência de dados entre plataformas, enquanto funcionalidades como gravação de vídeos e mudanças dinâmicas de cores e posições de elementos destacaram-se na experiência do utilizador. Apesar das dificuldades, a ferramenta superou os obstáculos, oferecendo uma interface de RV robusta e funcionalidades avançadas para aprimorar a colaboração e visualização em projetos de construção.

Em relação aos testes, que envolveram 15 participantes de diversas formações académicas, incluindo alguns provenientes do setor AECO, os mesmos decorreram ao longo de vários dias. O *Oculus Rift S* serviu como HMD, sendo que os testes indicaram baixos níveis de enjoo cibernético. A avaliação, composta por seis partes, incluiu a recolha de dados demográficos, conhecimentos do sector AECO, sessões de treino livre e restrito avaliando o desempenho do sistema, um pós-questionário sobre a usabilidade, e uma sessão de feedback final personalizada. Os resultados e o feedback dos participantes confirmaram o potencial e a facilidade de utilização da ferramenta para um possível uso dos profissionais no setor AECO.

Esta ferramenta representa uma demonstração do potencial da junção das tecnologias BIM e de RV. À medida que avançamos, é fascinante considerar os horizontes de possibilidades que esta ferramenta pode abrir no futuro. Além de aprimorar a colaboração atual, é possível imaginar um cenário em que a intercomunicação BIM-RV poderá automatizar processos complexos, como simulações de incêndio ou de sismos, de modo a facilitar a conceção de projetos futuros. Um ambiente em que arquitetos e engenheiros não apenas projetam, mas também simulam cenários dinâmicos de forma intuitiva, aproveitando a interatividade oferecida por esta ferramenta como base. Essa evolução promissora sugere um futuro em que as fronteiras entre conceção, visualização e execução se tornam mais fluídas, capacitando profissionais a explorar e realizar ideias que hoje parecem desafiadoras, mas que, com o avanço tecnológico, podem se tornar práticas comuns.

## Agradecimentos

O segundo autor agradece o Financiamento Base – UIDB/04708/2020 com DOI: 10.54499/UIDB/04708/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04708/2020>) da Unidade

de Investigação CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

O terceiro autor agradece o financiamento da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) ao NOVA Laboratory for Computer Science and Informatics (NOVA LINCS) (UIDB/04516/2020).

## Referências

- [1] M. Jazzar, C. Schranz, H. Urban, & H. Nassereddine, "Integrating construction 4.0 technologies: a four-layer implementation plan", *Frontiers in Built Environment*, vol. 7, 2021. doi: 10.3389/fbuil.2021.671408
- [2] M. Bilal, et al., "Big data in the construction industry: a review of present status, opportunities, and future trends", *Advanced Engineering Informatics*, vol. 30, no. 3, p. 500-521, 2016 doi:10.1016/j.aei.2016.07.001
- [3] A. Shibeika & C. Harty, "Diffusion of digital innovation in construction: a case study of a uk engineering firm", *Construction Management and Economics*, vol. 33, no. 5-6, pp. 453-466, 2015 doi: 10.1080/01446193.2015.1077982
- [4] R. Woodhead, P. Stephenson, & D. Morrey, "Digital construction: from point solutions to iot ecosystem", *Automation in Construction*, vol. 93, pp. 35-46, 2018 doi: 10.1016/j.autcon.2018.05.004
- [5] F. Ezeokoli, C. Onyia, & C. Bert-Onkonkwo, "State of readiness of nigerian construction industry towards digital transformation: the construction professionals' perception", *Journal of Engineering Research and Reports*, pp. 1-11, 2019 doi: 10.9734/jerr/2019/v4i216896
- [6] W. Khor, B. Baker, K. Amin, A. Chan, K. Patel, & J. Wong, "Augmented and virtual reality in surgery – the digital surgical environment: applications, limitations and legal pitfalls", *Annals of Translational Medicine*, vol. 4, no. 23, pp. 454-454, 2016 doi: 10.21037/atm.2016.12.23
- [7] A. Olanipekun & M. Sutrisna, "Facilitating digital transformation in construction – a systematic review of the current state of the art", *Frontiers in Built Environment*, vol. 7, 2021 doi: 10.3389/fbuil.2021.660758
- [8] Y. Juan, H. Chen, & H. Chi, "Developing and evaluating a virtual reality-based navigation system for pre-sale housing sales", *Applied Sciences*, vol. 8, no. 6, p. 952, 2018 doi: 10.3390/app8060952
- [9] M. Noghabaei, A. Heydarian, V. Balali, & K. Han, "Trend analysis on adoption of virtual and augmented reality in the architecture, engineering, and construction industry", 2019 doi: 10.20944/preprints201912.0369.v1

- [10] B. Schiavi, V. Havard, K. Beddiar & D. Baudry, "BIM data flow architecture with AR/VR technologies: Use cases in architecture, engineering and construction", *Automation in Construction*, vol. 134, p 104054, 2022 doi: 10.1016/j.aut-con.2021.104054
- [11] A. Juliani, *et al.*, "Unity: A General Platform for Intelligent Agents", *arXiv:1809.02627 [cs, stat]*, May 2020, disponível: <https://arxiv.org/abs/1809.02627>
- [12] <https://assetstore.unity.com/packages/tools/input-management/vrkeys-99222#publisher>
- [13] <https://assetstore.unity.com/packages/tools/video/vr-capture-75654#publisher>
- [14] <https://assetstore.unity.com/packages/tools/particles-effects/quick-outline-115488>
- [15] <https://assetstore.unity.com/packages/tools/gui/runtime-file-browser-113006>
- [16] <https://assetstore.unity.com/packages/tools/modeling/runtime-obj-importer-49547>
- [17] J. Brooke, 1996. SUS: a 'quick and dirty' usability scale. Usability evaluation in industry, pp.189-194.
- [18] S. G. Hart, NASA Task Load Index (TLX) v. 1.0, Human Performance Research Group, NASA Ames Research Center, 1986.
- [19] B.G. Witmer & M.J. Singer, Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, vol. 7(3), pp.225-240, 1998.
- [20] J. Lessiter, J. Freeman, E. Keogh & J. Davidoff, A cross-media presence questionnaire: The ITC-Sense of Presence Inventory. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, vol. 10(3), pp.282-297, 2001.



# A interoperabilidade entre BIM e SIG: a importância do “I” na conversão de informação

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.37>

Tiago Fino Martins<sup>1</sup>, Carla Rebelo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NLA – Nuno Leónidas Arquitectos, Lda., Oeiras

## Resumo

A interoperabilidade entre BIM (*Building Information Modeling*) e SIG (Sistemas de Informação Geográfica) constitui um dos grandes desafios da indústria AEC (*Architecture, Engineering, and Construction*). Vários casos de estudo têm sido abordados, sobretudo em contexto académico, de forma a superar as dificuldades na interoperabilidade entre BIM e SIG. Alguns casos de estudo vão desde a georreferenciação de modelos BIM para visualização em ambiente SIG à conversão de ficheiros IFC (*Industry Foundation Classes*) em formatos como o CityGML. No entanto, o grande desafio é a partilha de informação entre os ambientes BIM e SIG. No desenvolvimento de um projeto de arquitetura e urbanismo, onde os elementos se regem por parâmetros e índices urbanísticos, os desafios são acrescidos pela natureza inerente ao desenvolvimento do BIM, orientado para a escala do edifício, e do SIG, orientado para escalas de âmbito territorial. Neste trabalho pretendeu-se abordar a operacionalização entre BIM e SIG no contexto de projeto, através do desenvolvimento de uma metodologia que permitisse a transição de um conjunto de informações e respetivas geometrias (2D) entre um modelo BIM e um modelo geo-relacional estruturado em PostgreSQL/PostGIS. Os resultados obtidos contribuíram para a interoperabilidade entre as tecnologias BIM e SIG, e demonstraram que o “I” presente nestas duas siglas é o elemento comum e aglutinador entre estes universos – Informação.

## 1. Introdução

Dada a diversidade intrínseca das realidades BIM e SIG, os modelos desenvolvidos assentam em premissas diferentes e foram sendo desenvolvidos em paralelo sem a garantia de uma interoperabilidade. Com efeito, essa interoperabilidade reveste-se de grande importância na medida em que os projetos desenvolvidos em ambiente BIM influem e são influenciados não só pela sua localização geográfica, mas também por todos os fenómenos a ela associados. Os autores Xia, et al. [1] identificam os principais motivos pelos quais a indústria AEC pode beneficiar da integração SIG-BIM.

Os modelos BIM são bases de dados orientadas por objetos que permitem modelar tridimensionalmente objetos ou entidades complexas da engenharia e arquitetura. Estes modelos permitem a gestão não só do desenho do edifício, como também da informação do projeto e da própria vida útil dos edifícios [2]. De entre os vários modelos que existem num SIG, o modelo geo-relacional é conceptualmente aquele que permite estabelecer a interoperabilidade entre o BIM e SIG. O modelo geo-relacional é a representação de um conjunto de entidades geométricas (ponto, linha, polígono) associadas a uma localização espacial (sistema de coordenadas terrestre) e a um conjunto de relações que descrevem as entidades por um conjunto de atributos.

Os dados geográficos e as funções de análise espacial integradas num SIG são essenciais para apurar e aferir parâmetros urbanísticos no desenho urbano, como também realizar operações de análise espacial que permitam confrontar com informação geográfica de outros planos e entidades. A leitura de objetos BIM num ambiente SIG permite, ainda, o cruzamento com informação muito diversificada, desde declives a exposição solar. Este facto é tanto mais importante se a informação estiver disponível em formatos não compatíveis com o ambiente de trabalho BIM. Contudo, a concretização deste tipo operações de análise espacial é limitada e complexa através da tecnologia BIM. Por isso, a informação de um modelo BIM que seja pertinente para a execução de um plano urbanístico deverá ser extraída e integrada num modelo do tipo geo-relacional.

Apesar das diferentes abordagens e dos desenvolvimentos e soluções apresentadas para a compatibilização entre BIM e SIG, a interoperabilidade ainda se encontra num estado muito frágil [3].

Quer isto dizer que, apesar dos casos de estudo de sucesso na transcrição de geometrias entre ambientes, e sem prejuízo de algumas propriedades/atributos dos objetos serem passíveis de visualização num ou noutro *software* (BIM/SIG), ainda não há uma forma estável de edição de objetos.

Outra limitação prende-se com o facto de a maior parte dos casos de estudo se debruçarem sobre formatos como o IFC ou o CityGML [4] [5] [6]; isto significa que as estruturas de dados dos dois formatos têm problemas de compatibilização entre si [5] [6]; a conversão de um modelo BIM para formato IFC conduz a uma alteração da estrutura relacional dos objetos; isto significa que não é possível assegurar a

reintegração de objetos que sejam alterados/editados em formato IFC no modelo BIM original (no caso, Autodesk Revit). Por outras palavras, a transição de objetos editados em IFC para o modelo BIM de origem não é possível para a sua edição continuada no *software* original.

A abordagem da NLA relativamente à integração das tecnologias BIM e SIG no desenvolvimento dos projetos de arquitetura e urbanismo é uma prioridade. Esta integração passa pela partilha de informação através de uma base de dados comum que se relaciona com as geometrias nativas de dois ambientes distintos, com vista à sua manipulação e conseqüente atualização em ambos os universos. As principais vantagens são: (i) a possibilidade de atualização de informação de modo direto e (ii) permitir a análise espacial de informação produzida em ambiente BIM.

Do ponto de vista prático, a edição de dados provenientes do modelo BIM em ambiente SIG é fulcral no desenvolvimento de projetos informados pelo seu contexto geográfico e indicadores urbanísticos. Neste trabalho pretende-se abordar a transição de elementos entre um modelo BIM e um modelo geo-relacional estruturado em base dados PostgreSQL/PostGIS, e deste modo contribuir para a interoperabilidade entre BIM e SIG. Tendo em conta que o desenvolvimento de projetos de arquitetura se rege por regras informadas por planos, e considerando possíveis alterações a indicadores urbanísticos durante o desenvolvimento de fases preliminares do projeto, considerou-se a problemática das áreas de construção para montar um caso prático que servisse de base para a exportação de informação, criada em ambiente BIM, num formato passível de ser editado em SIG, não esquecendo a sua reimportação para o modelo BIM original

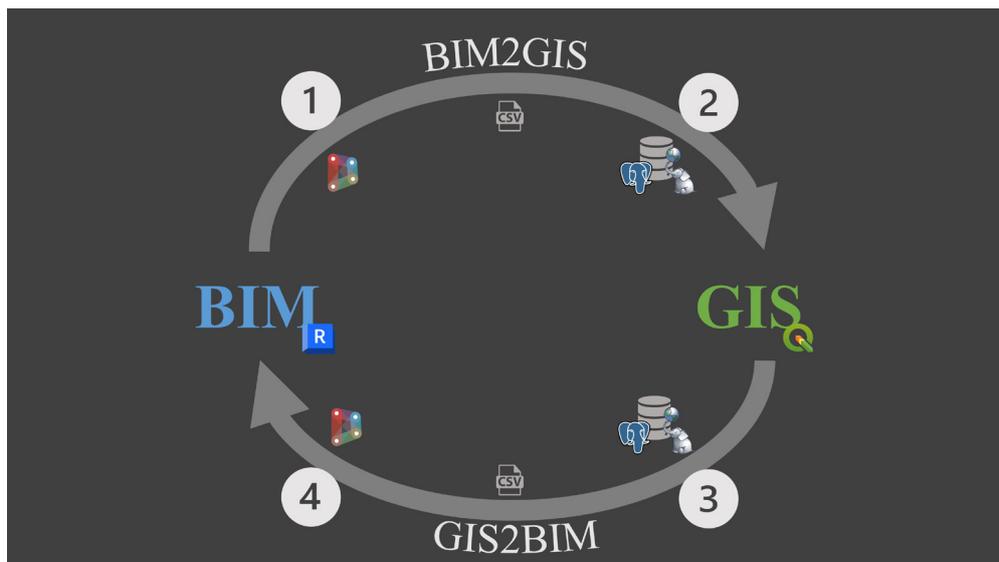
## 2. Metodologia

A interoperabilidade entre o modelo BIM e o modelo geo-relacional consiste na integração de informação proveniente de ambos os modelos numa base de dados (BD) geográficos, de modo que possa ser visualizada num contexto geográfico, incluindo a sua edição e análise espacial.

O desenvolvimento de uma metodologia que contribua para esta interoperabilidade passa pela transição de elementos geométricos de um modelo BIM para um modelo geo-relacional de forma recíproca. A primitiva geométrica fundamental para esta conectividade é um ponto definido por um par de coordenadas. A leitura desta primitiva geométrica nos dois modelos estabelecerá a conectividade requerida para uma atualização robusta e eficaz de entidades geométricas que representem áreas. Por se tratar de informação 2D, e tendo em conta a importância do nível de detalhe de um modelo urbano, salienta-se que a informação a exportar equivale ao LOD0, segundo a norma *CityGML 2.0* do *Open Geospatial Consortium*.

Neste artigo, as propriedades dos objetos, designadas como parâmetros no Revit, serão denominadas como atributos à semelhança da nomenclatura usada num SIG.

**Figura 1**  
Metodologia.



Conceptualmente, a conectividade entre o modelo BIM e o modelo geo-relacional (Figura 1) teve por base o desenvolvimento de: a) *scripts* em Dynamo que permitam extrair/atualizar um determinado conjunto de atributos, incluindo pares de coordenadas (x,y) do modelo BIM (passos 1 e 4); e b) funções em linguagem PL/PGSQL que permitam reestruturar a informação proveniente do modelo BIM para a BD geográficos e registrar as alterações aplicadas às entidades geométricas, de modo que possam ser novamente importadas para o modelo BIM via *script* Dynamo (passos 2 e 3).

A metodologia desenvolvida tem por base dois fluxos de um conjunto de dados entre os dois modelos:

**BIM2GIS – “Modelo BIM > Modelo geo-relacional”:** 1) Geração da listagem de elementos: *script* Dynamo ‘bim2csv’ para a geração de um ficheiro de texto com geometria (listagem de coordenadas) e informação associada (atributos); e 2) (Re)importação para ambiente SIG: função ‘csv2geo’ para a importação desse conjunto de dados para a base de dados geográficos PostgreSQL/PostGIS e geração dos polígonos (a partir da listagem de coordenadas) que representam as áreas.

**GIS2BIM – “Modelo geo-relacional – > Modelo BIM”:** 3) Geração da listagem de elementos: função ‘geo2csv’ para a exportação do conjunto de informação (vértices dos polígonos alterados ou não, e restante informação); e 4) (Re)importação para ambiente BIM: *script* Dynamo ‘csv2bim’ de leitura e importação para atualização do modelo BIM.

As funções csv2geo e geo2csv foram desenvolvidas em linguagem procedimental PL/PGSQL do PostgreSQL. Estas funções foram geradas no servidor da base de dados PostgreSQL, tendo por base um conjunto de funções PostGIS, linguagem SQL e instruções processuais de programação. Estas funções podem ser executadas no ambiente gestor de base de dados do *software* QGIS. Esta metodologia permite a

conversão de objetos BIM numa tabela da Base de Dados PostgreSQL/PostGIS com geometrias correspondentes associadas e vice-versa.

## 2.1. BIM2GIS – Integração de informação BIM em SIG

### Geração da listagem de elementos

Numa primeira fase foi desenvolvido o *script* ‘bim2csv’ para exportação de elementos BIM. Este algoritmo (Figura 3) foi desenvolvido de forma a obter um ficheiro .csv (*Comma Separated Values*) com os vértices de cada uma das áreas de construção e respetivos atributos (Tabela 1).

Tabela 1: Estrutura de dados das áreas de construção.

Campo	Descrição	Tipo de dados
GUID	Identificador único	string
X	coordenada X dos vértices do polígono	double precision
Y	coordenada Y dos vértices do polígono	double precision
Z	coordenada Z dos vértices do polígono	double precision
Name	Nome	string
Comments	Comentários	string
Area	Área	double precision
Perimeter	Perímetro	double precision
Level	Nível associado	string

Atendendo à estrutura de dados do *software* Revit, o “GUID” é um identificador único de um conjunto de geometrias e atributos (parâmetros) associados, garantindo que a alteração dessas geometrias e/ou respetivos dados num outro ambiente é passível de reintegração no modelo BIM. A tabela resultante tem um registo por cada vértice do polígono da área desenhada, i.e., uma área é definida por  $n$  registos (vértices), todos com o mesmo “GUID” e os restantes atributos “Name”, “Comments”, “Area”, “Perimeter” e “Level”. Ao vincular cada registo ao “GUID” a reimportação de campos alterados para o mesmo objeto do Revit torna-se possível, garantindo a correta relação entre as geometrias representadas e as suas propriedades.

O *script* foi estruturado em dois grandes grupos de funções, partindo do objeto que se pretende exportar para o BIM: o grupo de atributos (*Get parameters*), por um lado, e a geometria (*Transform coordinates*), por outro.

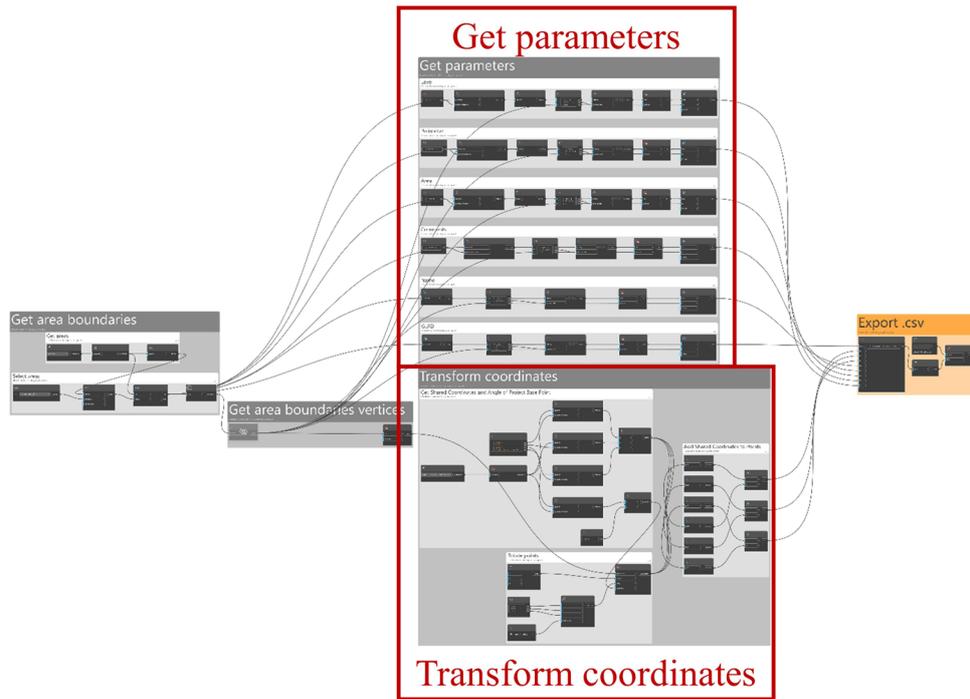
No caso dos atributos, a sua obtenção é expedita, após a seleção dos objetos que se pretendem exportar – *Get parameters*.

Em relação às coordenadas, dada a natureza do sistema de coordenadas em que o *software* Revit opera, mas tirando partido da georreferenciação do modelo, é necessário efetuar uma transformação de coordenadas - *Transform coordinates* – que inclui uma translação e rotação. Para isso, foram adicionados a cada uma das componentes (X, Y e Z) os valores respetivos do *Project Base Point* (corresponde à origem do sistema de coordenadas interno do Revit), que derivam do sistema de coordenadas

atribuído (ETRS89-PT/TM06). Os pontos foram ainda alvo de uma rotação de forma a ficarem orientados de acordo com o norte geográfico (*True North*), ao invés do norte do projeto Revit (*Project North*). Esta operação foi essencial para estabelecer a ligação entre a informação BIM e SIG.

Os dois grupos de informação foram, posteriormente, armazenados no ficheiro .csv (Figura 2).

**Figura 2**  
Script 'bim2csv'  
para exportação de  
elementos BIM.



**(Re)importação para ambiente SIG**

A segunda fase corresponde à execução da função 'csv2geo' (Figura 3). Esta função consiste na importação dum listagem de coordenadas (.csv) proveniente do modelo BIM, seguindo-se a transformação sequencial desse conjunto de pares de coordenadas numa geometria do tipo pontos, linhas e polígonos através da utilização de funções PostGIS. Estas funções PostGIS implementadas na função 'csv2geo' permitem a conversão ou a geração de geometrias, nomeadamente *st\_makepoint*, *st\_makeline* e *st\_buildarea*. Na função assegurou-se que as primitivas geométricas estivessem sempre associadas ao identificador único ("GUID") do objeto integrado do modelo BIM.

**Figura 3**  
Ações implementadas  
na função 'csv2geo'.



## 2.2. GIS2BIM – Integração de informação geo-relacional em BIM

### Geração da listagem de elementos

A primeira fase deste fluxo consiste na extração de uma listagem das coordenadas dos vértices de cada um dos polígonos (passo 3 da Figura 1), através da função 'geo2csv' (Figura 4). A função é composta por um conjunto de ações sequenciais que integram funções de PostGIS e linguagem SQL para a realização de operações específicas em geometrias, nomeadamente: 1) *st\_boundary* é utilizada para obter os limites de um polígono; 2) *st\_makeline* converte os limites dos polígonos em segmentos de arco (*linestring*); 3) *st\_pointN* extrai numa sequência ordenada de pontos de cada *linestring*; e 4) *st\_x* e *st\_y* registam os valores das coordenadas de cada ponto. Por fim, a informação resultante é exportada para um arquivo de texto (.csv), mantendo a estrutura de dados inicial proveniente do modelo BIM.



**Figura 4**  
Ações implementadas na função 'geo2csv'.

### (Re)importação para ambiente BIM

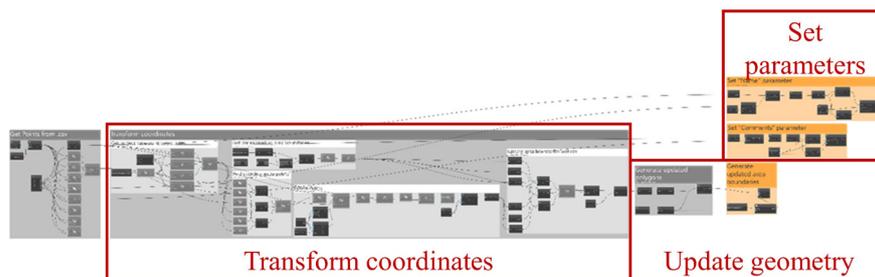
Para a (re)importação da listagem de elementos (.csv) provenientes do modelo geo-relacional (passo 4 da Figura 1) desenvolveu-se o *script 'csv2bim'* em Dynamo. Com base nos "GUID", foram identificados os objetos-alvo de alteração no modelo BIM. Esta reimportação tem dois objetivos:

- A atualização de atributos alterados para cada uma das áreas;
- A substituição dos polígonos das áreas de construção.

No que diz respeito aos atributos, após identificados os objetos a alterar, o código desenvolvido permite uma atualização de forma bastante expedita (*Set parameters*), através da correspondência do "GUID" com cada uma das áreas originais. Este facto releva a importância deste atributo ao longo do processo. Em relação às geometrias, a atualização implicou uma transformação de coordenadas para o sistema de referência interno do *software* Revit, inverso ao necessário aquando da exportação (*Transform coordinates*). Os polígonos das áreas de construção foram substituídos pelos alterados em ambiente SIG e, por conseguinte, o valor das suas áreas atualizado (*Update geometry*).

**Figura 5**

Script 'csv2bim' para a (re)importação de elementos em Dynamo.



### 3. Caso de estudo e resultados

Esta secção pretende demonstrar a aplicação da metodologia para um caso de estudo. Para este caso de estudo, partindo de um modelo BIM com a informação pertinente que permita identificar as áreas de construção do edificado, poder-se-á confrontar, por exemplo, as áreas de construção com os elementos que constam numa planta de condicionantes, ou aferir se o valor total de área de construção cumpre um plano de urbanização.

#### 3.1. Caso de estudo

De forma a testar a metodologia descrita foi feito um exercício com três polígonos de áreas de construção (Figura 6). Estas áreas foram criadas de forma tradicional em ambiente Revit e decorrem de um projeto desenvolvido pela NLA para aferição de áreas de construção. Trata-se de um estudo preliminar para a recuperação de dois edifícios em ruínas, na proximidade de zonas de RAN (Reserva Agrícola Nacional). Este exemplo foi escolhido pela complexidade geométrica da área A, e pelo facto de ter mais do que um elemento na mesma planta de áreas, por forma a criar um caso de estudo com alguma complexidade. Uma das áreas (área B) foi arbitrariamente criada de modo a obter um polígono de complexidade intermédia.

Duas das áreas foram alteradas em ambiente SIG, simulando uma modificação decorrente de uma análise espacial:

- área A não sofreu alterações;
- área B foi alterada no atributo "Comments";
- área C sofreu alterações na geometria.

#### 3.2. Resultados da metodologia

A aplicação da metodologia ao caso prático permitiu testar os dois fluxos: BIM2GIS e GIS2BIM.

As áreas de construção foram exportadas com sucesso para o ficheiro .csv recorrendo ao *script* Dynamo ('bim2csv') desenvolvido e, posteriormente, gerados os polígonos respetivos através da função 'csv2geo'. A plataforma de visualização em ambiente SIG foi o *software* QGIS conectado à base de dados PostgreSQL/PostGIS (Figura 6).

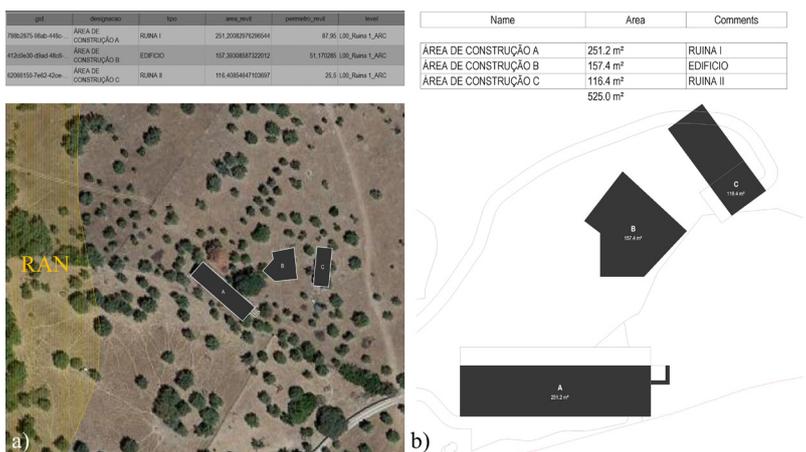


**Figura 6**  
Resultados do fluxo BIM2GIS: a) áreas de construção no Revit; e b) áreas no QGIS.

O fluxo BIM2GIS foi testado com sucesso, com a forma e localização corretas dos polígonos.

Procedeu-se à edição dos polígonos de forma que a área de construção B apresentasse o atributo “Comments” como “EDIFÍCIO” e a geometria da área de construção C perfizesse 116.4m<sup>2</sup>, alterando os seus limites.

Após estas alterações, testou-se o fluxo GIS2BIM, também com sucesso (Figura 7). A transformação inversa de coordenadas dos vértices dos polígonos para Revit permitiu obter corretamente os limites das áreas de construção no Revit, e o atributo “Comments” foi atualizado para “EDIFÍCIO”. Este resultado demonstra que o identificador “GUID” cumpriu a sua função na prossecução do objetivo de proceder às alterações para os objetos corretos.



**Figura 7**  
Resultados do fluxo GIS2BIM: a) áreas de construção alteradas no QGIS; b) atualização do modelo BIM no Revit.

Este caso de estudo demonstra que a metodologia desenvolvida permitiu com sucesso estabelecer a conectividade entre um modelo BIM e o modelo geo-relacional em SIG, através do Dynamo e base de dados PostgreSQL/PostGIS.

## 4. Conclusão

Este trabalho demonstra o desenvolvimento de uma metodologia robusta e eficaz que permite de uma forma simples e automatizada transitar dados/informação entre um modelo BIM e um modelo geo-relacional integrado numa base de dados geográficos PostgreSQL/PostGIS. Para que fosse estabelecida esta interoperabilidade estabeleceu-se o ponto como a primitiva geométrica elementar para esta conectividade. A extração de um tipo de objetos do modelo BIM segundo uma listagem de coordenadas associadas a um sistema de referência terrestre, com o respetivo identificador único de cada objeto do BIM, foi determinante para a concretização desta ligação.

Para além disso, no contexto de projeto, a metodologia desenvolvida tem a vantagem de não sobrecarregar o modelo BIM com informação não necessária diretamente ao seu desenvolvimento, e permite tirar partido das vantagens de um modelo geo-relacional com a realização de análises espaciais que permitam avaliar, parametrizar e auxiliar no desenho urbano, ou mesmo do edificado. A utilização do identificador unívoco “GUID” para o estabelecimento desta ligação permite a vinculação dos objetos ao modelo BIM e foi decisivo para o sucesso na (re)importação aquando das alterações efetuadas. Por fim, a utilização de uma base de dados geográficos PostgreSQL/PostGIS permite, adicionalmente, a automatização de processos, como demonstrado pelas funções.

No futuro prevê-se o aperfeiçoamento desta metodologia para a extração de objetos do modelo BIM que possam conter “buracos”, nomeadamente construções com pátios interiores. Por outro lado, pretende-se ainda reforçar a transição de Informação “I” entre as duas tecnologias BIM e SIG com a adequação desta metodologia para a extração de outro tipo de objetos BIM, tendo também por base o desenvolvimento e automatização de tarefas de análise espacial informem eficazmente o projeto de arquitetura e/ou urbanismo.

## Referências

- [1] H. Xia, Z. Liu, M. Efremochkina, X. Liu e C. Lin, “Study on city digital twin technologies for sustainable smart city design: A review and bibliometric analysis of geographic information system and building information modeling integration,” *Sustainable Cities and Society*, vol. 84, p. 04009, 2022.
- [2] H. Penttilä, “Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression,” *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 11, n.º Special issue: The Effects of CAD on Building Form and Design Quality, pp. 395-408, 2006.
- [3] X. Liu, X. Wang, G. Wright, J. C. P. Cheng, X. Li e R. Liu, “A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS),” *ISPRS, International Journal of Geo-Information*, vol. 6, n.º 53, p. 19, 2017.

- [4] J. Zhu, X. Wang, M. Chen, P. Wu e M. J. Kim, "Integration of BIM and GIS: IFC geometry transformation to shapefile using," *Automation in Construction*, n.º 106, 2019.
- [5] X. Ding, J. Yang, L. Liu, W. Huang e A. P. Wu, "Integrating IFC and CityGML Model at Schema," 2020.
- [6] M. J. Sani, I. A. Musliman e A. A. Rahman, "IFC to CITYGML conversion algorithm based on geometry and semantic mapping," *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vols. %1 de %2XLVI-4/W3-2021, 5-6 October 2021.



# A fotogrametria aérea como base da criação de modelos BIM e Digital Twins: Revisão da literatura

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.38>

**Diogo F. R. Parracho<sup>1</sup>, João Poças Martins<sup>2,3</sup>,  
João M. P. Q. Delgado<sup>4</sup>, João Santos Baptista<sup>5,6</sup>**

<sup>1</sup> CONSTRUCT-GEQUALTEC, Departamento de Engenharia Civil (DEC),  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP),  
Porto, Portugal. 0000-0003-0413-6178

<sup>2</sup> CONSTRUCT-GEQUALTEC, DEC-FEUP,  
Porto, Portugal. 0000-0001-9878-3792

<sup>3</sup> BUILT CoLAB – Laboratório Colaborativo para o Ambiente Construído do Futuro, Porto

<sup>4</sup> CONSTRUCT-LFC, DEC-FEUP, Porto, Portugal. 0000-0002-1026-4523

<sup>5</sup> LAETA – Laboratório Associado de Energia, Transportes e Aeronáutica,  
Departamento de Engenharia de Minas (DEM), FEUP,  
Porto, Portugal. 0000-0002-8524-5503

<sup>6</sup> LABIOMEPE – Laboratório de Biomecânica do Porto,  
Faculdade de Desporto da Universidade do Porto (FADEUP), Porto, Portugal

## Resumo

Nos últimos anos tem-se notado um crescimento da utilização de aeronaves não tripuladas (“drones”) para diversos fins, trazendo consigo um conjunto de vantagens interessantes inclusivamente para o setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Pelo facto de estarem equipadas com câmaras fotográficas, estas aeronaves podem ser utilizadas como forma de adquirir informação “*as-is*” do ambiente construído através de técnicas não destrutivas e sem contacto como é o caso da fotogrametria. Como tal, ao permitirem a digitalização da geometria dos ativos, torna-se útil a sua potencial interligação com a metodologia BIM e/ou de monitorização em tempo real.

Este artigo tem como objetivo apresentar uma análise da literatura atual no que toca à utilização de drones como passo inicial para o desenvolvimento de modelos BIM e/ou de Digital Twins. A fotogrametria aérea com drones é amplamente utilizada na criação de modelos BIM (e HBIM), contudo, o mesmo não se aplica aos Digital Twins. Além disso, é comum utilizar-se outras ferramentas de *reality capture* (e.g., laser scanners) como apoio ao levantamento aéreo.

## 1. Introdução

Atualmente, o mundo está inserido na chamada quarta revolução industrial (Indústria 4.0) que tem vindo a alterar o paradigma de inúmeros setores, incluindo o da construção, graças à adoção de novas tecnologias como a robótica, impressão 3D, *big data*, sensores, realidade estendida (virtual, aumentada e mista), entre outros [1]. Neste “novo” mundo, também as aeronaves não tripuladas (vulgarmente conhecidas como “drones”) têm ganho popularidade para variadas aplicações, fruto da sua flexibilidade e custos moderados [2].

Apesar de originalmente terem sido desenvolvidos para fins militares [2]–[4], os drones hoje em dia são utilizados em áreas tão distintas como a agricultura, ciências da natureza, buscas e salvamento, desporto, arqueologia, indústria da construção e do património [3]–[5].

A área da engenharia é aquela que alberga uma maior proporção dos artigos relacionados com drones [6]. Uma destas áreas de aplicação, e em claro crescimento, é o setor da construção civil [7], [8], tendo uma considerável aceitação pública quanto ao uso destes aparelhos [5].

Apesar de não ser considerada uma tecnologia tão impactante no setor como o BIM ou a prefabricação [9], as aeronaves não tripuladas podem ser utilizadas em qualquer fase do ciclo de vida de uma construção [1], [10], [11]. A título de exemplo, os drones podem ser aplicados para efetuar o levantamento das zonas a construir numa fase pré-construção, fazer a monitorização da obra e da segurança da mesma e, numa fase posterior, efetuar inspeções, análises energéticas e até atividades relacionadas com marketing [10], [12].

Freeman et al. [11] relatam um uso crescente da utilização de drones para a criação de modelos digitais para obras de engenharia civil. De facto, já foi discutido na literatura o potencial da utilização destas aeronaves com o BIM na cadeia de valor da construção [13]; contudo, a interligação entre drones, BIM e Digital Twins não está ainda completamente explorada. Recentemente foi efetuada uma revisão sistemática da literatura sobre a utilização de tecnologias digitais com a temática da Construção 4.0 [8], no entanto, os autores apenas utilizaram uma base de dados para o estudo (a Scopus no caso), pelo que importa ampliar esta análise.

Assim, este artigo pretende responder à lacuna identificada na literatura atual sobre a utilização dos drones para a criação de modelos BIM e Digital Twins na indústria AEC, procurando identificar diferentes práticas em termos de abordagens.

## 2. Metodologia

Nesta secção é apresentada a metodologia utilizada para se proceder a esta revisão da literatura. A revisão apresentada neste artigo surge como parte de uma análise mais abrangente (*scoping review*) que pretendeu estudar o uso dos drones aliados ao

BIM e aos Digital Twins. Assim sendo, a revisão original seguiu as recomendações da PRISMA para as *scoping reviews* [14].

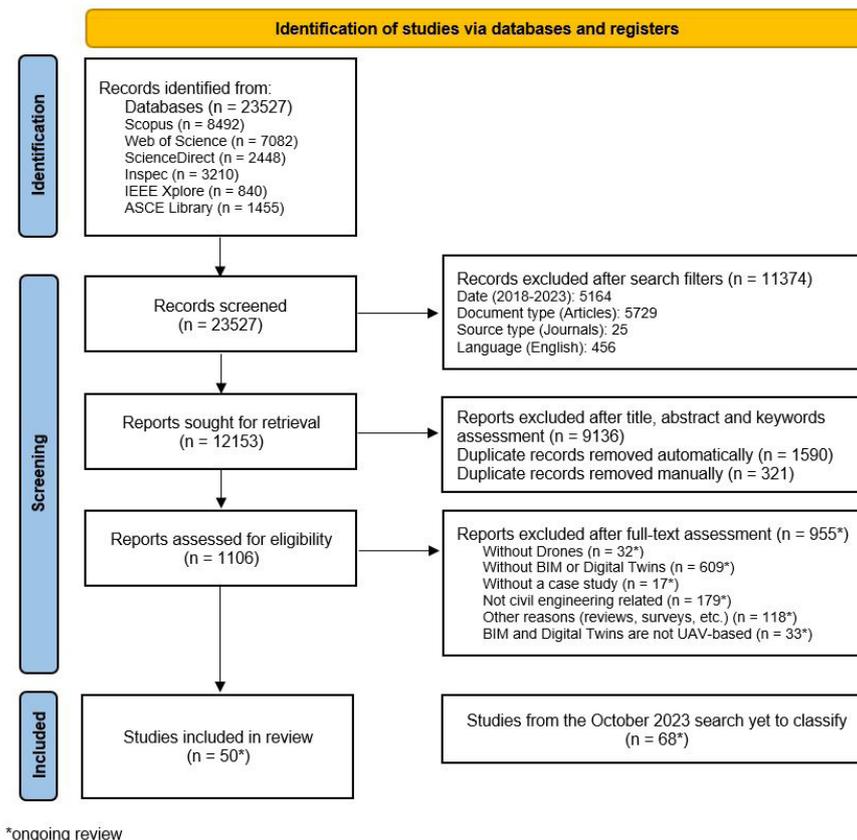
A revisão começou por recolher artigos em seis bases de dados: Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Inspec, IEEE Xplore e ASCE Library. As primeiras três estão entre as maiores bases de dados multidisciplinares a nível mundial, enquanto as demais estão relacionados com a engenharia, com a ASCE Library a debruçar-se sobre a principal área de estudo deste estudo – a engenharia civil. Quatro grupos de palavras-chave foram criados para gerar combinações de palavras para a pesquisa, onde o primeiro correspondia ao grupo dos drones e seus sinónimos, o segundo aos modelos BIM e Digital Twins, sendo que os demais grupos albergavam palavras ligadas à digitalização em geral (e.g., fotogrametria e Scan-to-BIM). Procedeu-se de seguida à combinação destas palavras-chave, sendo de salientar que em todas as instâncias se incluiu as palavras provenientes do grupo dos drones por se pretender que todos os artigos incluíssem estes equipamentos, pois é esse o objetivo deste estudo. Na Figura 1 é possível observar o gráfico de resumo da metodologia adotada, sendo esta descrita em seguida.

A recolha de artigos foi iniciada em março 2023, tendo sido efetuada uma segunda recolha em outubro do mesmo ano, de forma a incluir mais artigos do ano em questão. Foram identificadas 23527 potenciais referências a partir das combinações de palavras nas bases de dados, sendo que posteriormente foram excluídas 11374 ao serem incluídos filtros na pesquisa. De seguida, leu-se o título, palavras-chave e resumo dos restantes 12153 artigos, tendo sido excluídos 9136 neste processo. Nesta fase o critério foi bastante abrangente por conta dos vários “modelos 3D” mencionados nos resumos que poderiam ser úteis para esta revisão. Os 3017 artigos que cumpriam com o critério adotado foram introduzidos num gestor de referências bibliográficas (o Mendeley), que automaticamente excluiu 1590 duplicados, tendo sido ainda necessário excluir 321 artigos duplicados manualmente, perfazendo assim 1106 artigos para analisar.

Dado o critério inicial lato para evitar perdas de informação relevante, foram retiradas bastantes referências nesta fase posterior. Como esta é uma revisão ainda em curso, ainda há 68 artigos por analisar que cumpriram com os critérios de elegibilidade. Assim, esta revisão aborda os 50 artigos analisados ao detalhe referentes à primeira iteração da pesquisa, em março 2023.

**Figura 1**

Fluxograma da revisão de literatura, baseado no esquema PRISMA 2020.



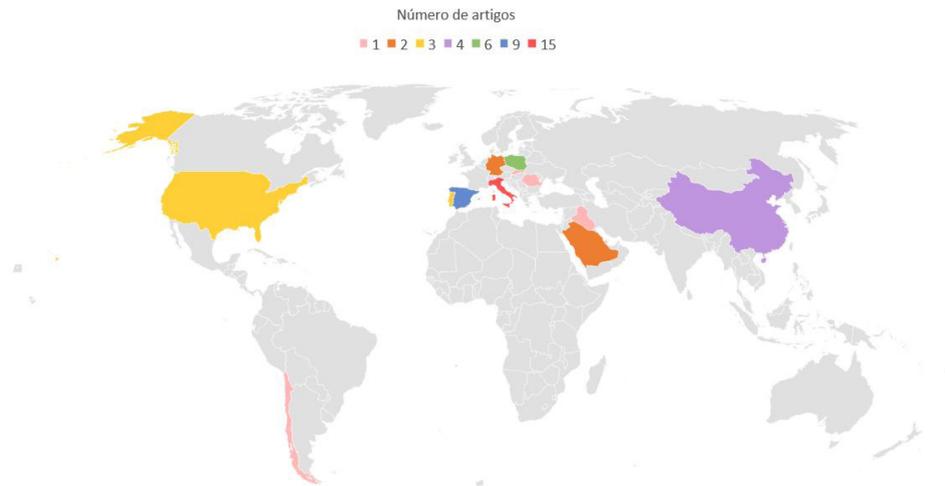
### 3. Discussão e resultados

#### 3.1. Dados gerais

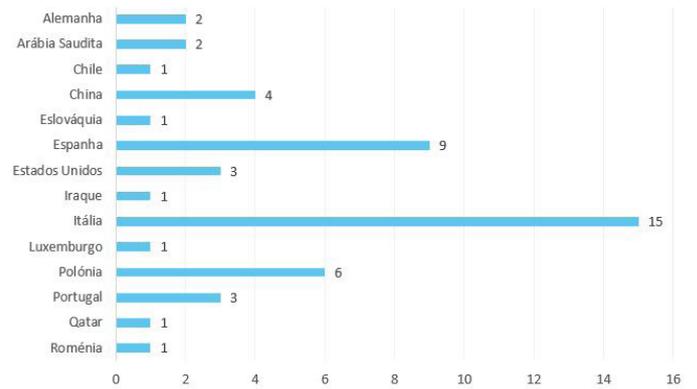
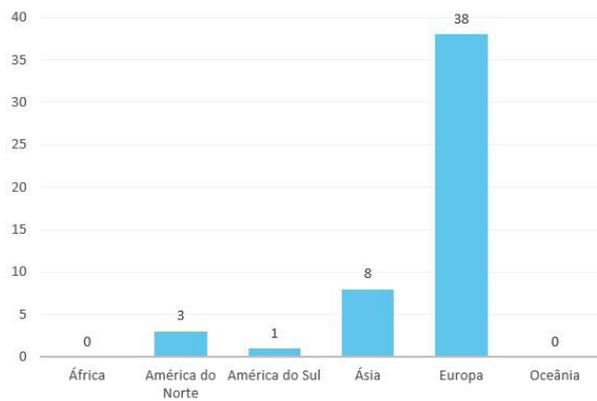
Os artigos selecionados no final do método descrito previamente serão analisados nesta secção.

Quanto à distribuição geográfica dos casos de estudo analisados nos artigos, é possível constatar nas Figuras 2 e 3 o forte impacto europeu nesta análise, com algum destaque para a Ásia também. O país com maior número de ocorrências é Itália (15), seguindo-se Espanha (9).

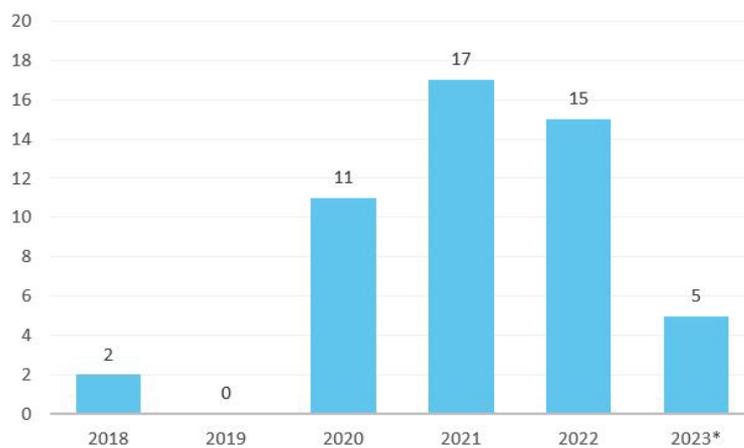
Quanto à distribuição cronológica, constata-se na Figura 4 a evolução no uso dos drones na metodologia BIM e Digital Twins, com um crescimento significativo desde 2020. Tal situação pode ser explicada pelo investimento em novas tecnologias no setor AEC provocado pela pandemia de COVID-19 [2]. Salienta-se que não foi apenas para estes usos que a sua utilização aumentou recentemente no setor [7], [8], sendo os Estados Unidos o país que mais usa estes equipamentos na construção civil, com destaque para o Brasil em termos lusófonos [2].



**Figura 2**  
 Distribuição geográfica no mapa dos casos de estudo dos artigos analisados.



**Figura 3**  
 Distribuição dos casos de estudo por continente (esquerda) e por país (direita).



**Figura 4**  
 Distribuição anual dos artigos analisados (até março 2023).

### 3.2. Fase da construção e casos de aplicação

Nesta secção analisa-se a distribuição dos artigos recolhidos na revisão da literatura conforme o caso de aplicação e a fase da construção do ativo em estudo.

A Tabela 1 ilustra a forte ligação europeia com o seu património cultural, nomeadamente no que toca a edifícios históricos. Este dado está em linha com a corrente de pensamento atual do HBIM (Heritage BIM), que tem uma forte aposta no continente europeu [15].

Praticamente todos os casos de estudo são aplicados às fases da operação e manutenção (O&M) e à conservação histórica do ativo, na maioria das vezes de edifícios. A exceção é o artigo de Hu et al. [16] onde a fotogrametria aérea com drones é aliada à fotogrametria terrestre para criar um modelo BIM de um edifício no seu fim de vida útil com planeamento 4D para otimizar a estratégia de desconstrução e gestão de resíduos. O modelo BIM serve também de base à criação de um modelo de análise estrutural para a avaliação das estratégias de segurança.

É interessante a não inclusão de qualquer artigo aplicado à fase da execução em obra, principalmente por essa fase ser bastante mencionada em artigos que utilizam ferramentas de *reality capture* (i.e., fotogrametria e laser scanner) para comparar a construção “*as-is*” com modelos de projeto. Note-se que artigos que seguissem essa lógica foram retirados aquando da presente revisão por não utilizarem estas ferramentas como base para a criação de modelos, mas apenas para comparação/atualização de modelos já existentes, pelo que não se enquadra no propósito desta revisão da literatura.

Tabela 1: Distribuição dos artigos conforme o caso de aplicação e a fase da construção

Continente	Aplicação	Fase da Construção					Total
		Pré-Construção	Execução	O&M	Fim de Vida Útil	Conservação Histórica	
Europa	Edifícios	–	–	10	–	22	32
	Pontes	–	–	4	–	–	4
	Obras Hidráulicas	–	–	1	–	–	1
	Outro (Arco)	–	–	–	–	1	1
Ásia	Edifícios	–	–	2	1	5	8
América do Norte	Edifícios	–	–	2	–	–	2
	Pontes	–	–	1	–	–	1
América do Sul	Obras Hidráulicas	–	–	1	–	–	1
<b>Total</b>		–	–	21	1	28	50

### 3.3. Grupo do artigo e estágio do modelo

Durante esta revisão da literatura foram identificados seis grupos principais, conforme a área em que o caso de estudo se aplica. A estes grupos soma-se um outro que engloba temáticas diferenciadas.

O grupo que engloba um maior número de artigos está relacionado com o património, que representa também a fase da conservação histórica da construção (da Tabela 1). Note-se que nenhum dos artigos deste grupo vai além do BIM (ou HBIM) em termos de estágio do modelo. Além disso, poucos são os artigos que usam somente os drones neste processo. No que toca ao património (europeu e asiático), apenas em uma situação foi possível capturar informação com estas aeronaves para modelar tanto o interior como o exterior do edifício em questão [17]. Esta é de resto a única vez em que o drone foi utilizado como ferramenta única para esse processo. Só em mais duas situações estas aeronaves foram utilizadas dentro de um edifício (ambos relacionados com o património), contudo, Currià et al. [18] e Leon et al. [19] utilizam também fotogrametria terrestre de curto alcance e laser scanners, respetivamente, para este tipo de aquisição.

Contrariamente ao grupo mencionado anteriormente, em que nenhum artigo entrava em estágios de modelo em direção ao Digital Twin, o mesmo não acontece com o grupo das simulações energéticas. Em três situações foram utilizados sensores reais e cujos resultados da monitorização *in-situ* foram comparados com os resultados das simulações energéticas. Para esta situação de comparação de dados simulados com campanhas de monitorização em tempo real adotou-se a designação de “Protótipo de um Digital Twin”.

Existem dezenas de definições sobre o que é um Digital Twin (DT). Uma destas é que devem existir sensores a recolher dados em tempo real no ativo em estudo, permitindo a conexão bidirecional de informação entre os mundos físico e virtual. Por sua vez, um Digital Shadow (DS) apenas permite uma ligação unidirecional da informação [20]. Estas são as nomenclaturas adotadas nesta revisão. Assim, mesmo que exista uma interligação bidirecional da informação (e.g., entre o Excel e o Revit via Dynamo) mas não haja sensores [21], nesta revisão tal situação não será considerada como um Digital Twin (assinalado com um \* na tabela seguinte). Como tal, apenas Han et al. [22] cumpre com este critério, tendo criado um campus universitário inteligente na China. Na Tabela 2 está resumida a informação encontrada.

Tabela 2: Distribuição dos artigos conforme o seu grupo, a utilização exclusiva de drones como ferramenta de *reality capture*, e estágio do modelo digital

Continentes	Grupo	Apenas com Drone?	Tem BIM?	Estágio				Total
				Só BIM	Prot. DT	DS	DT	
Europa	Património	Sim	Sim	2	-	-	-	2
		Não	Sim	21	-	-	-	21
	Energia	Sim	Sim	-	2	-	-	2
		Não	Sim	-	1	-	-	1
	Estrutural	Sim	Sim	1	1	-	-	2
			Não	-	-	1	-	1
		Não	Sim	2	-	-	-	2
			Não	-	2	-	-	2
	Gestão de Ativos	Não	Sim	1	-	-	-	1
	Outro	Não	Sim	3	-	-	-	3
Ásia	Património	Não	Sim	5	-	-	-	5
	Gestão de Ativos	Não	Sim	-	-	1	-	1
		Não	Não	-	-	-	1	1
Fim de Vida Útil	Não	Sim	1	-	-	-	1	
América do Norte	Gestão de Ativos	Sim	Sim	1	-	-	-	1
	Inspeções	Sim	Sim	1	-	-	-	1
	Outro	Não	Sim	1	-	-	-	1
América do Sul	Gestão de Ativos	Sim	Sim	1	-	-	*	1
<b>Total</b>				<b>40</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>50</b>

Assim, não foi observado qualquer artigo que utilize unicamente drones para a criação de modelos BIM e Digital Twins com sistemas de monitorização em tempo real, tampouco de Digital Shadows. Existem apenas três situações de “Protótipos de Digital Twins” que caminham nessa direção: dois relacionados com as simulações energéticas de edifícios existentes [23], [24] e um com a análise estrutural de uma ponte [25]. Por sua vez, os Digital Shadows dos grupos da energia [26], estruturas [27], e gestão de ativos [28], não seguem o processo na sua totalidade, falhando ou na utilização não exclusiva da fotogrametria aérea com drones ou na aplicação da metodologia BIM, além da questão da bidirecionalidade dos dados.

### 3.4. Metodologia padrão

Após análise dos 50 artigos recolhidos que utilizam a fotogrametria aérea como base da criação de modelos BIM ou Digital Twins – servindo habitualmente a nuvem de pontos (82%) como guia para a modelação digital dos ativos levantados via *reality*

*capture* –, é interessante avaliar os métodos em estudo. Assim, nesta secção é avaliada a “metodologia padrão” destes artigos.

A maioria dos casos de estudo situa-se na Europa (76%), sendo a metodologia aplicada sobretudo a edifícios (84%) numa fase da construção interessada na sua conservação (56%).

Dos 43 artigos que identificam qual o drone utilizado no processo, 5 mencionam ter utilizado 2 ou mais. O drone mais utilizado foi o DJI Phantom 4 Pro (presente em 13 artigos dos 43 – 30%), tendo a gama dos DJI Phantom sido a mais usada (22 casos – 51%). A DJI foi, de longe, a marca mais utilizada (em 40 artigos – 93%). Nenhum drone utilizado era de asa fixa, sendo todos multirotores. Estes são os mais utilizados no setor AEC por serem capazes de descolarem e aterrarem verticalmente, bem como pairar sobre a área em estudo pretendida, ao contrário dos de asa fixa, que além de não conseguirem pairar, precisam de zonas de pista para descolarem e aterrarem. Assim, os drones multirotores permitem uma maior flexibilidade para trabalhos relacionados com este setor [3]. Todos os levantamentos foram efetuados com a câmara RGB da aeronave, sendo que 1 usou também a câmara de infravermelhos. A fotogrametria foi assim utilizada em todos os levantamentos, exceto em 2 que optaram pela videogrametria (4%).

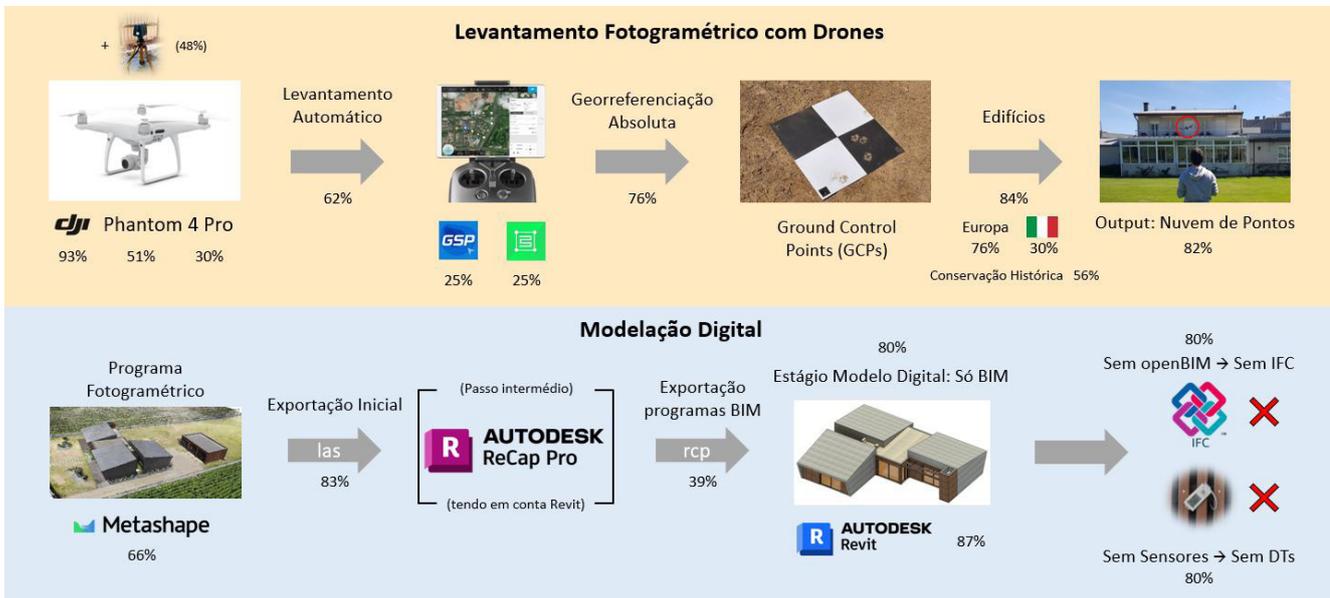
O levantamento com drone é, na maioria das vezes, efetuado automaticamente (23 dos 37 identificados – 62%), com recurso ao DJI Ground Station Pro ou ao Pix4Dcapture (ambos 4 vezes em 16 mencionados – 25% cada). Pontos de controlo terrestres são utilizados na maioria dos casos (27/37 – 76%), de forma a garantir uma maior precisão absoluta do modelo [29].

Em todos os artigos as nuvens de pontos foram em algum momento utilizadas no processo (e.g., para a criação dos *mesh models* – modelos de malhas poligonais), não obstante, em 41 ocasiões (82%) foi o output final ou fez parte do conjunto de outputs finais do processo fotogramétrico.

O Agisoft Metashape (ou a sua versão anterior, o Agisoft Photoscan) foi o programa fotogramétrico mais comum (27/41 – 66%) e o Autodesk Revit foi o programa BIM mais usado (39/45 – 87%). Contudo, este programa só recebe nuvens de pontos nos formatos proprietários do Autodesk ReCap (*rcp* ou *rct*) [23], [29], pelo que quando o Autodesk ReCap não é usado desde o início, é necessário converter os formatos de exportação. O mesmo não se aplica quando se trata de *meshes* uma vez que o Autodesk Revit suporta os formatos *ply* e *obj*, entre outros. O formato de exportação *las* foi o mais mencionado (5/6 – 83% para nuvens de pontos). Efetivamente, os formatos *rcp* (7/18 – 39%) e *rct* (6/18 – 33%) foram os mais utilizados no processo de importação para programas BIM.

O openBIM começa a ser uma temática abordada, mas só 20% dos artigos referem o uso do formato IFC. Por sua vez o HBIM é o padrão nos artigos relacionados com a conservação do património.

Nos 10 artigos que referem algum estágio de Digital Twins, 4 apresentam apenas sensores das condições ambientais (temperatura, humidade relativa, CO<sub>2</sub>, etc.), 2 apresentam sensores relacionados com a monitorização estrutural (e.g., extensómetros e acelerómetros) e outros 2 com ambos. Além disso há 1 que utiliza outros tipos de medições (e.g., ocupação) e 1 que não identifica quais os sensores utilizados, mas identifica o uso da plataforma digital EcoDomus. Apenas 11 artigos utilizam exclusivamente os drones (22%), sendo que o laser scanner é o instrumento mais utilizado além destas aeronaves, estando presente em 24 artigos (48%), seguido de perto pela fotogrametria terrestre de curto alcance com 19 ocorrências (38%). Outras curiosidades incluem o facto de 10 artigos utilizarem técnicas de realidade estendida (9 deles com realidade aumentada, 8 com realidade virtual e 2 com realidade mista). O Unity foi o programa mais vezes utilizado nestas aplicações (4 ocorrências). Na Figura 5 está resumido o processo padrão dos artigos encontrados:



NOTA: Links das imagens – Drone [30], controlador remoto [31], GCP [32], levantamento aéreo [33] e modelos [23]. As demais são do acervo dos autores

**Figura 5**

Resumo do processo padrão, desde o levantamento fotogramétrico ao modelo digital.

## 4. Conclusões

Enquanto ferramentas essenciais para a Construção 4.0, o BIM e os Digital Twins beneficiam da adoção crescente de drones no setor AEC, principalmente desde 2020. Como tal, esta revisão pretendeu analisar a interligação destas ferramentas para a criação dos modelos.

Nesta revisão foi possível constatar a utilização da fotogrametria aérea para a criação de nuvens de pontos de ativos (normalmente edifícios), usadas como guia para a modelação. Apesar da vasta aplicação para a criação de modelos BIM, poucos são os que usam a monitorização em tempo real com sensores para criar um modelo digital “vivo”. Em apenas uma situação se descreveu um “verdadeiro” Digital Twin, ao invés

de um Digital Shadow. Não foi encontrado qualquer artigo que tenha utilizado somente drones para criar um Digital Twin baseado num modelo BIM, tendo em conta que a maioria dos autores usa também outras técnicas de *reality capture* (e.g., laser scanners). Foram encontradas apenas três situações de “Protótipos de Digital Twin” que caminham nessa direção. Esta poderá ser uma temática a explorar futuramente.

Por fim, é notória a aposta em métodos de Cloud-to-BIM baseadas na fotogrametria, em particular para edifícios de interesse histórico e em obras de restauro (sobretudo na Europa), contudo, não aparentam ter interesse de monitorizar em tempo real os ativos para estes fins.

## Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por: Financiamento Base - UIDB/04708/2020 e DOI 10.54499/UIDB/04708/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04708/2020>) da Unidade de Investigação CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções - financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC) e pelo Fundo Social Europeu (FSE), através do Programa Operacional Regional do Norte [NORTE-06-3559-FSE-000176].

O primeiro autor, Diogo Filipe Ramos Parracho, dedica este artigo à memória do seu avô Manuel Santana Parracho.

## Referências

- [1] M. B. Hatoum and H. Nassereddine, “The Use of Drones in the Construction Industry: Applications and Implementation,” in *ISARC 2022*, Bogotá, Colombia, Jul. 2022, pp. 542-549. doi: 10.22260/ISARC2022/0077.
- [2] J. M. Nwaogu *et al.*, “Application of drones in the architecture, engineering, and construction (AEC) industry,” *Autom. Constr.*, vol. 150, no. March, p. 104827, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.autcon.2023.104827.
- [3] M. Gheisari, D. B. Costa, and J. Irizarry, “Unmanned Aerial System applications in construction,” in *Construction 4.0 – An Innovation Platform for the Built Environment*, London: Routledge, 2020, pp. 264-288. doi: 10.1201/9780429398100-14.
- [4] T. Rakha and A. Gorodetsky, “Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: Towards automated building inspection procedures using drones,” *Autom. Constr.*, vol. 93, pp. 252-264, 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2018.05.002.
- [5] B. Aydin, “Public acceptance of drones: Knowledge, attitudes, and practice,” *Technol. Soc.*, vol. 59, p. 101180, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.techsoc.2019.101180.

- [6] D. Chabot, "Trends in drone research and applications as the Journal of Unmanned Vehicle Systems turns five," *J. Unmanned Veh. Syst.*, vol. 6, no. 1, pp. vi-xv, 2018, doi: 10.1139/juvs-2018-0005.
- [7] H. Golizadeh *et al.*, "Scientometric analysis of research on 'remotely piloted aircraft': A research agenda for the construction industry," *Eng. Constr. Archit. Manag.*, vol. 27, no. 3, pp. 634-657, 2020, doi: 10.1108/ECAM-02-2019-0103.
- [8] T. S. N. Rachmawati and S. Kim, "Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Integration with Digital Technologies toward Construction 4.0: A Systematic Literature Review," *Sustainability*, vol. 14, no. 9, p. 5708, May 2022, doi: 10.3390/su14095708.
- [9] World Economic Forum, "Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology," Geneva, Switzerland, May 2016.
- [10] G. Albeaino and M. Gheisari, "Trends, benefits, and barriers of unmanned aerial systems in the construction industry: a survey study in the United States," *J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 26, no. March, pp. 84-111, Mar. 2021, doi: 10.36680/j.it-con.2021.006.
- [11] M. R. Freeman, M. M. Kashani, and P. J. Vardanega, "Aerial robotic technologies for civil engineering: established and emerging practice," *J. Unmanned Veh. Syst.*, vol. 9, no. 2, pp. 75-91, Jun. 2021, doi: 10.1139/juvs-2020-0019.
- [12] D. F. R. Parracho, J. Poças Martins, and E. Barreira, "Drones, BIM e o Desempenho Energético de Edifícios," in *2SEC2023: Livro de Atas*, Lisboa, Portugal, 2023, pp. 163-164. [Online]. Available: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/151119>
- [13] Q. F. M. Dupont *et al.*, "Potential Applications of UAV along the Construction's Value Chain," *Procedia Eng.*, vol. 182, pp. 165-173, 2017, doi: 10.1016/j.pro-eng.2017.03.155.
- [14] A. C. Tricco *et al.*, "PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation," *Ann. Intern. Med.*, vol. 169, no. 7, pp. 467-473, Oct. 2018, doi: 10.7326/M18-0850.
- [15] Z. Zhang and Y. Zou, "Research hotspots and trends in heritage building information modeling: A review based on CiteSpace analysis," *Humanit. Soc. Sci. Commun.*, vol. 9, no. 1, p. 394, Oct. 2022, doi: 10.1057/s41599-022-01414-y.
- [16] X. Hu *et al.*, "Smart building demolition and waste management frame with image-to-BIM," *J. Build. Eng.*, vol. 49, p. 104058, May 2022, doi: 10.1016/j.job.2022.104058.
- [17] P. Martínez-Carricondo *et al.*, "Combination of nadiral and oblique UAV photogrammetry and HBIM for the virtual reconstruction of cultural heritage. Case

- study of Cortijo del Fraile in Níjar, Almería (Spain),” *Build. Res. Inf.*, vol. 48, no. 2, pp. 140-159, Feb. 2020, doi: 10.1080/09613218.2019.1626213.
- [18] E. Currà, A. D’Amico, and M. Angelosanti, “HBIM between Antiquity and Industrial Archaeology: Former Segrè Papermill and Sanctuary of Hercules in Tivoli,” *Sustainability*, vol. 14, no. 3, p. 1329, Jan. 2022, doi: 10.3390/su14031329.
- [19] I. Leon, J.J. Pérez, and M. Senderos, “Advanced Techniques for Fast and Accurate Heritage Digitisation in Multiple Case Studies,” *Sustainability*, vol. 12, no. 15, p. 6068, Jul. 2020, doi: 10.3390/su12156068.
- [20] M. Nour El-Din *et al.*, “Digital Twins for Construction Assets Using BIM Standard Specifications,” *Buildings*, vol. 12, no. 12, p. 2155, 2022, doi: 10.3390/buildings12122155.
- [21] C. Jofré-Briceño *et al.*, “Implementation of Facility Management for Port Infrastructure through the Use of UAVs, Photogrammetry and BIM,” *Sensors*, vol. 21, no. 19, p. 6686, Oct. 2021, doi: 10.3390/s21196686.
- [22] X. Han *et al.*, “Intelligent Campus System Design Based on Digital Twin,” *Electronics*, vol. 11, no. 21, p. 3437, Oct. 2022, doi: 10.3390/electronics11213437.
- [23] J. M. P. Q. Delgado *et al.*, “BIM and BEM Interoperability – Evaluation of a Case Study in a Modular Wooden Housing,” *Energies*, vol. 16, no. 4, p. 1579, 2023, doi: 10.3390/en16041579.
- [24] A. Benz *et al.*, “Framework for a UAS-based assessment of energy performance of buildings,” *Energy Build.*, vol. 250, p. 111266, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111266.
- [25] V. Gattulli *et al.*, “Dynamical models of a suspension bridge driven by vibration data,” *Smart Struct. Syst.*, vol. 27, no. 2, pp. 139-156, 2021, doi: 10.12989/sss.2021.27.2.139.
- [26] L. Etxepare *et al.*, “Advanced Intervention Protocol in the Energy Rehabilitation of Heritage Buildings: A Miñones Barracks Case Study,” *Sustainability*, vol. 12, no. 15, p. 6270, Aug. 2020, doi: 10.3390/su12156270.
- [27] M. Bacco *et al.*, “Monitoring Ancient Buildings: Real Deployment of an IoT System Enhanced by UAVs and Virtual Reality,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 50131-50148, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2980359.
- [28] K. Naji *et al.*, “BIM-based Facility Management Models for Existing Buildings,” *J. Eng. Res.*, vol. 10, no. 1, pp. 21-37, Sep. 2021, doi: 10.36909/jer.11433.
- [29] D. F. R. Parracho, J. Poças Martins, and E. Barreira, “A Workflow for Photogrammetric and Thermographic Surveys of Buildings with Drones,” in *New Advances*

*in Building Information Modeling and Engineering Management*, Cham, Switzerland: Springer, 2023, pp. 77-95. doi: 10.1007/978-3-031-30247-3\_5.

- [30] DJI, “Phantom Series,” 2023. <https://www.dji.com/pt/products/phantom> (accessed Dec. 11, 2023).
- [31] DJI, “DJI GS Pro,” 2023. <https://www.dji.com/pt/ground-station-pro> (accessed Dec. 11, 2023).
- [32] Pix4D SA, “Ground control points: why are they important?,” Dec. 03, 2019. <https://www.pix4d.com/blog/why-ground-control-points-important#need-gcps> (accessed Dec. 11, 2023).
- [33] D. F. R. Parracho, “Processos Digitais para a Realização de Levantamentos Fotogramétricos e Termográficos com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT),” Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto, Portugal, 2021.

# Scan to BIM: Arquitetura e instalações MEP

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.39>

Inês Rodrigues<sup>1</sup>, Inês Miranda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Plano Obliquo, Lda, Carcavelos*

## Resumo

Nos últimos anos, o projeto integrado BIM MEP (Mechanical, Electrical & Plumbing) tem sido alvo de evolução e procura, sendo uma mais-valia para a avaliação da coerência de todos os elementos de construção. Apresentamos um caso de estudo de um projeto que envolve arquitetura e instalações MEP, nomeadamente tubagens e equipamentos, para uma unidade hoteleira em Lisboa. O processo de conceção do modelo BIM foi fundamental para o desenvolvimento e coordenação do projeto.

Foi selecionado este caso de estudo de forma a partilharmos o projeto de especialidades mais desafiante que desenvolvemos, não apenas pela área a tratar e respetiva complexidade, mas ainda pela densidade. O objetivo principal deste projeto foi interligar os sistemas de duas centrais térmicas, localizadas em áreas opostas no edifício em causa, através de um corredor existente. A estratégia adotada passou por três fases, começando pelo levantamento *in situ* da Nuvem de Pontos, que oferece maior precisão e redução de tempo quando comparado com os métodos tradicionais de levantamento, passando pela modelação, onde foi imprescindível a criação de vários modelos separados por espaços e, por fim, a criação de um modelo federado com todos os espaços e sistemas que compõem as duas centrais, consequentemente utilizado para gerar toda a documentação.

O ARCHICAD, da *Graphisoft*, foi a ferramenta escolhida para a modelação de arquitetura e especialidades MEP pela possibilidade de importação direta das nuvens de pontos e pela polivalência do programa. O processo de quantificação por sistema foi bastante preciso graças aos mapas de quantidades, cujas bases de dados paramétricas estão associadas às tubagens e equipamentos dos modelos tridimensionais, minimizando erros.

## 1. Introdução

A tecnologia BIM surge como uma alteração de paradigma no setor da construção, incluindo engenheiros e arquitetos. É através de modelos tridimensionais que se atinge uma comunicação mais completa e precisa, gerando documentação com a informação fundamental, sem a necessidade de desenhos detalhados uma vez que esta informação está especificada no modelo 3D em formato IFC. Isto sugere menos tempo em desenho e, conseqüentemente, menor custo. Para a comunicação entre os vários intervenientes ser feita com sucesso, o modelo foi sendo partilhado em formato IFC e visualizado em softwares, de utilização gratuita, com o fim de integrar fluxos de trabalho OpenBIM, até porque as várias entidades envolvidas não utilizam o mesmo software de modelação [1].

É objetivo do projeto apresentado melhorar a eficiência energética de uma unidade hoteleira de 5 estrelas, com 300 quartos, salas de reuniões e eventos, recebendo cerca de 750 pessoas. Um edifício datado da década de 70 do século XX, em Lisboa, que ao longo dos anos foi sendo atualizado e melhorado. No entanto, o proprietário considerou que havia ainda lugar a aperfeiçoamento no que toca ao consumo de energia do edifício, permitindo reduzir a emissão de CO<sub>2</sub>, iniciando o seu percurso para a descarbonização [2].

A equipa designada para a elaboração deste estudo, liderada pela empresa *HELEXIA* em parceria com a empresa *ACET*, optou por iniciar esta tarefa pelo levantamento de toda a informação existente das centrais térmicas.

Contudo, como o proprietário não tinha registos atualizados dos sistemas nem peças desenhadas, foi efetuado o levantamento através de nuvem de pontos das centrais, recolhendo deste modo a informação geométrica (gráfica) da realidade construída.

Na coordenação do levantamento e modelação das condições existentes, bem como na modelação das soluções de projecto, a *Plano Oblíquo* esteve como parceira do gabinete de projeto responsável pelo estudo de otimização da eficiência das centrais térmicas, a *ACET*.

## 2. O que é Scan to BIM

O *scan to BIM* consiste em levantar o meio ambiente físico utilizando digitalização a laser e posteriormente obter o modelo tridimensional. Esta ferramenta permite apoiar na definição geométrica do *digital twin* cujo objetivo de alcançar uma representação virtual precisa do existente. Esta metodologia permite a deteção de conflitos otimizado o processo e facilitando a tomada de decisões informadas, transformando a captura de dados num modelo inteligente e paramétrico, bem como possibilita a redução de erros de projeto, almejando maior eficiência do mesmo [6].

### 3. Âmbito do projeto

O edifício dispõe de duas centrais térmicas separadas geograficamente no edifício e que operam de forma totalmente independente. Assim, a solução de projeto encontrada pela equipa projetista foi a sua interligação de modo que ambas contribuam em simultâneo para a climatização e produção de AQS, como um todo, tornando os sistemas mais eficientes. As centrais térmicas situam-se no piso -4 do edifício. Sendo espaços técnicos, são caracterizados por muitas tubagens, condutas, cabos, etc., e como qualquer área desta natureza, sempre caracterizados pela falta de espaço.



**Figura 1**  
Levantamento CAD existente.

**Figuras 2 e 3**  
Levantamento fotográfico.

Respeitando o objetivo principal de interligar os sistemas das duas centrais térmicas através do corredor existente, foram modelados os sistemas específicos que eram necessários à intervenção. Desta forma, foi possível reduzir o tempo ao dispensar a modelação de sistemas que não eram relevantes. No entanto, o dono de obra tem a nuvem de pontos para futura consulta, permitindo analisar e/ou modelar as condições existentes de outras instalações que estiveram fora do âmbito deste projeto específico.

O laserscanning foi uma mais-valia na precisão e perceção para a modelação em ARCHICAD [3]. O programa utilizado apresenta uma enorme versatilidade, não só como ferramenta de modelação na arquitetura, como também nas especialidades MEP. Embora existam poucos modelos de equipamentos e acessórios em formato nativo, oferecem uma grande diversidade na importação de objetos de outras *softwares*, ou até na sua modelação interna – *in house*. Isto também fez com que todo o processo fosse imediato e eficaz.

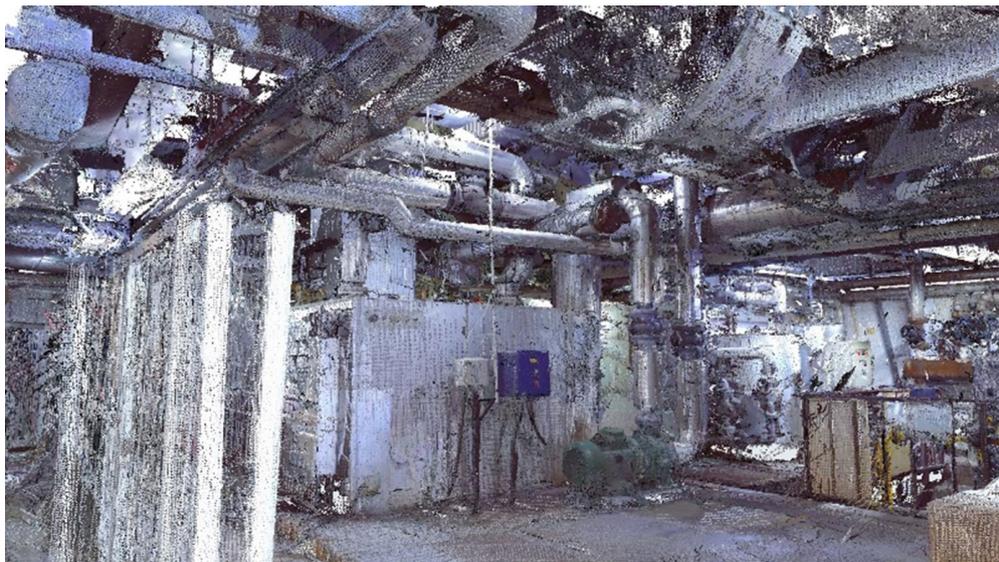
### 4. Levantamento por nuvem de pontos

O levantamento das nuvens de pontos demorou cerca de 1,5 dias com cerca de 70 varrimentos com equipamento estático, sendo que, nesta fase, a tarefa mais árdua

foi ao nível do trabalho em software para efetuar o registo dos diversos varrimentos com o intuito de combinar a informação, numa única nuvem.

Embora a nuvem de pontos seja bastante precisa, este local em caso de estudo é um espaço pouco iluminado, cheio de tubagens e equipamentos, visualmente muito intenso e cheio de pormenores. Por essa razão, foi imprescindível adquirir uma nuvem de pontos com maior resolução e, por consequência, originando ficheiros bastante pesados [3].

**Figura 4**  
Nuvem de Pontos.

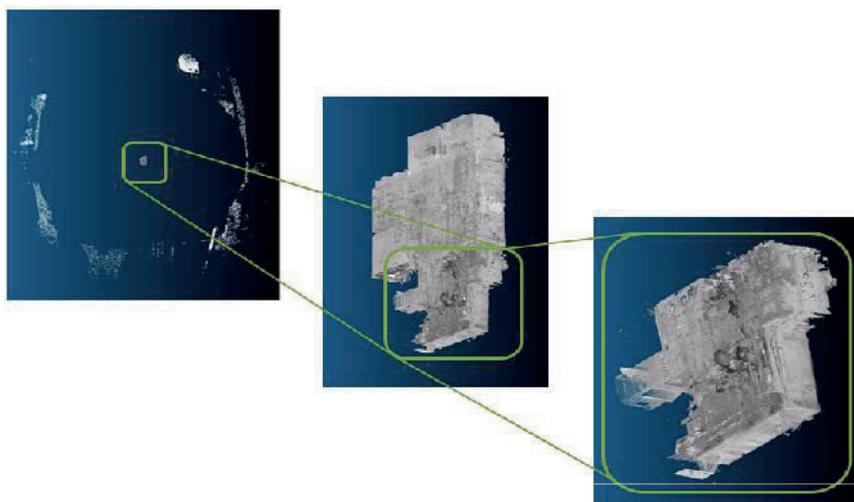


## 5. Modelação

Foi opção a utilização do *ARCHICAD*, através do MEP Modeler integrado, para a modelação das condições existentes assim como a modelação das alterações aos sistemas a executar com fim à otimização do consumo energético.

### 5.1. Condições existentes

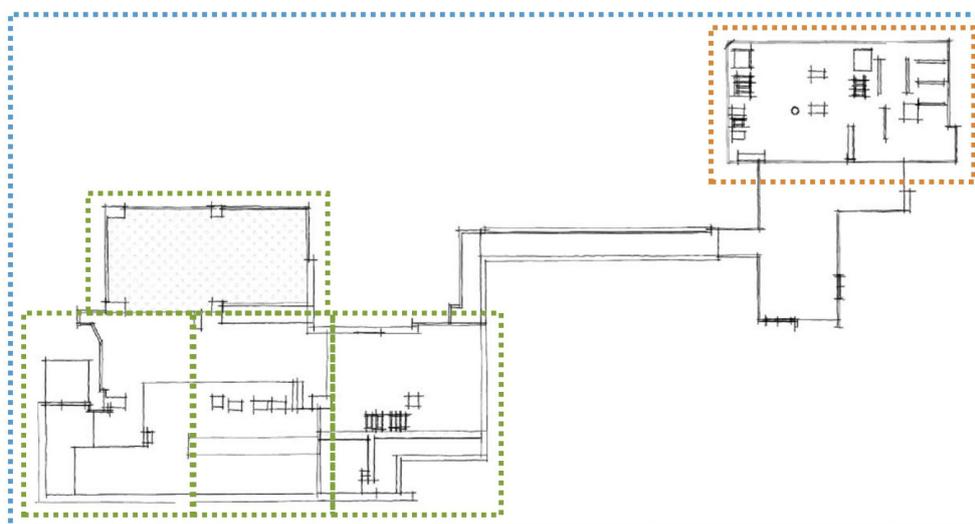
Devido às limitações do software de modelação, o *ARCHICAD*, no que toca à leitura e integração da nuvem de pontos no modelo, sendo que o número máximo é de 280 milhões de pontos, bem como do próprio *hardware*, houve a necessidade de reduzir a quantidade de pontos das nuvens.



**Figura 5**  
Redução e divisão das nuvens de pontos.

Este processo foi efetuado no programa Cloud Compare [7], de modo a reduzir o número de pontos nas nuvens. Ainda assim, não sendo suficiente esta redução, uma vez que uma diminuição excessiva do número de pontos reduziria também o detalhe capturado, houve ainda a necessidade de fracionar as nuvens em várias partes.

a solução levou-nos a ter vários ficheiros separados por zonas, que serviram de módulos associados (Hotlinks) para criar um modelo federado.

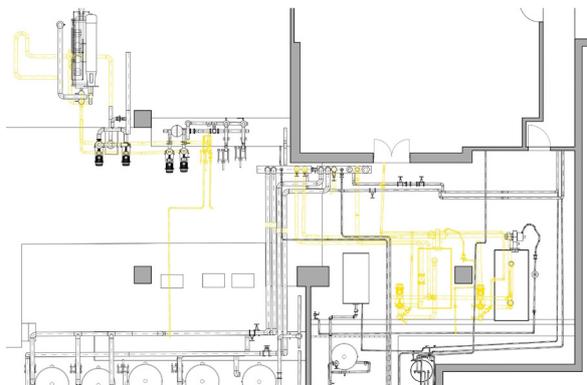


**Figura 6**  
Esquema de módulos associado.

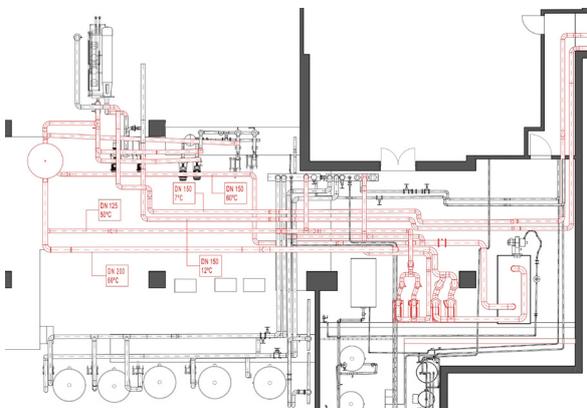
No entanto, continuámos a ter a necessidade de aceder à nuvem de pontos completa para consultar pormenores que se perderam no processo de redução. Para visualização da nuvem completa sem pesar nas tarefas do ARCHICAD, foi utilizado o software TruView, da Leica Geosystems [8], que nos permitiu navegar nas nuvens completas e sem restrições, possibilitando a visualização precisa de todos os pormenores da instalação, uma vez que o que se visualiza são as imagens panorâmicas que a estação de laser cria aquando do levantamento.

## 5.2. Condições de projecto

**Figura 7**  
Sistemas a desmontar.



**Figura 8**  
Sistemas a construir.



Com o modelo das condições existentes concluído, iniciou-se a modelação das condições de projeto e das alterações a serem executadas nas instalações, seguindo as cores convencionais amarelo a demolir e encarnado a construir. Deste modo foi possível extrair os mapas de quantidades de trabalhos a executar, contabilizado as tubagens, equipamentos e acessórios a desmontar e a montar.

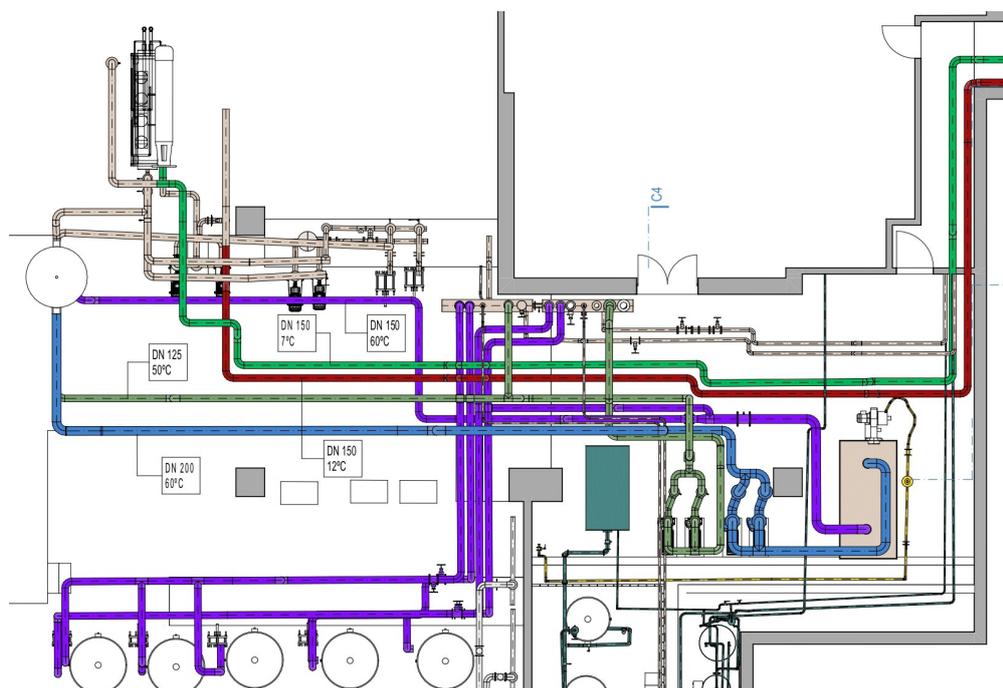
## 6. Requisitos de informação

Para um melhor planeamento do trabalho, é importante definir os requisitos de informação aquando do arranque de projeto, tornando mais ágil a gestão de todo o processo de modelação de acordo com as classificações, propriedades e ID dos elementos de forma correta. Estes requisitos devem ser definidos desde início, em conjunto com as entidades envolvidas, para uma maior coerência no desenvolvimento e apresentação do projeto.

A informação carregada nos objetos também se torna muito importante em todo este processo, desde a sua classificação, preenchimento / definição de propriedades relevantes e, ainda, o *layer* em que ficará visível.

No caso de estudo apresentado era de extrema importância a identificação de cada sistema existente e dos novos sistemas a criar e/ou unificar. Também de enorme relevância a dimensão de tubagens e respetivos isolamentos, uma vez que havia áreas muito exíguas e em que foi necessário o estudo de várias alternativas tendo em conta os atravancamentos.

Ainda no âmbito da informação que deveria ser carregada nos modelos, o material de construção das tubagens, existente e a propor, foi crucial uma vez que se queria evitar eventuais corrosões eletrolíticas de modo a não contaminar o fluido e não reduzir a vida útil das instalações.



**Figura 9**  
Legenda automática das propriedades e classificações dos sistemas.

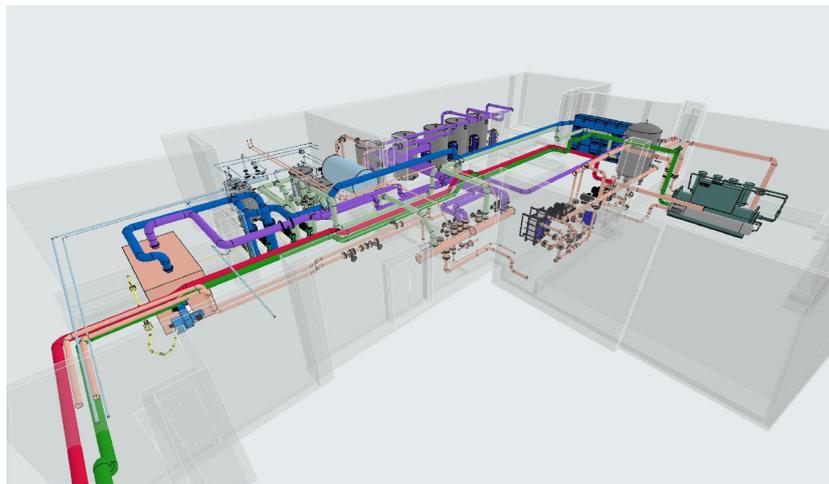
## 6.1. Visualização

O software utilizado oferece uma grande diversidade nas opções de documentação e visualização no próprio programa. De forma rápida, clara e objetiva, é-nos possível apresentar ao cliente o modelo tridimensional, as plantas, cortes e/ou alçados com todas as tubagens e as respetivas cores convencionadas para identificação dos sistemas.

Embora as cores utilizadas no fluido das tubagens sigam geralmente a norma portuguesa NP-182, neste caso de estudo específico, como havia uma extensa quantidade de tubagens com o mesmo tipo de fluido, mas com diferentes temperaturas e, portanto, diferentes sistemas, houve a necessidade de criar representações diferentes por sistema e não por fluido. Desta forma, junto da equipa da ACET, convencionou-se que a separação de sistemas seria feita da seguinte forma:

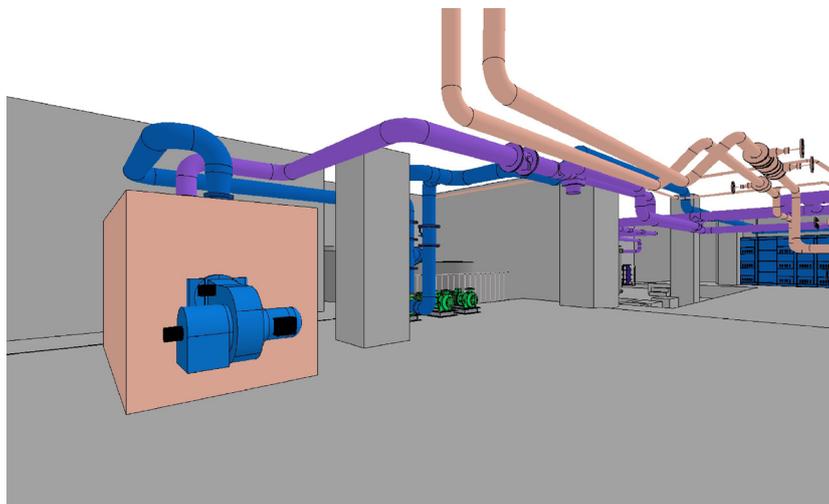
- Água a 7°C ■
- Água a 12°C ■
- Água a 50°C ■
- Água a 60°C (circuito da caldeira) ■
- Água a 60°C (circuito geral) ■
- tubagem e equipamentos não intervencionados ■

**Figura 10**  
Cores convencionadas  
para os sistemas.



As várias cores definidas, respeitando também a clara necessidade de representação e diferenciação gráfica, foi uma mais-valia para as reuniões de coordenação e para todo o desenvolvimento do projeto. Outro benefício é o facto de ser possível, de forma fácil e rápida, filtrar a visualização das tubagens relevantes, seja por sistema, seja pela cor, para algum assunto em questão durante a coordenação, visualização e/ou tomada de decisões.

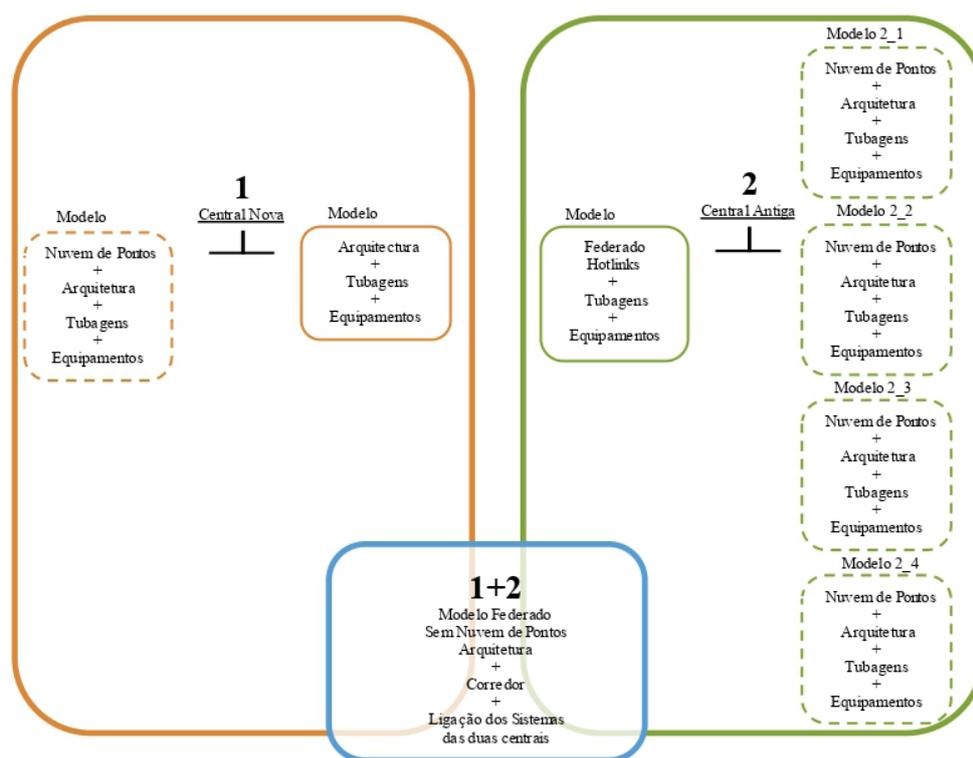
**Figura 11**  
Visualização filtrada.



## 7. Hotlinks, Federação de Modelos

Como já descrito anteriormente, foi necessária a criação de vários modelos, parcelares, para permitirem a modelação sobre as nuvens de pontos. Para tal foi definida pela equipa de modelação uma estratégia para a estrutura de desagregação dos modelos, em que a central mais pequena (“central nova”) era um modelo e a central maior (“central antiga”) foi desagregada em quatro modelos, dando origem a um modelo federado da “central antiga”. Uma vez que o objetivo inicial era a interligação das duas centrais, para que ambas produzissem as necessidades de climatização em conjunto e de forma partilhada, foi então criado um modelo federado com as duas centrais, onde também foi modelado o corredor de ligação destas, no qual iriam passar as tubagens de junção das mesmas.

A central antiga era de grande dimensão, gerando muitos milhões de pontos não suportados por um único ficheiro no ARCHICAD, e por isso houve a necessidade de a fracionar em quatro modelos.



**Figura 12**  
Diagrama de desagregação do modelo federado em módulos associados.

## 8. Conclusão

Concluimos haver mais vantagens do que desvantagens na utilização do laserscanning. Nas vantagens, podemos incluir a precisão do modelo que é possível obter, a redução do tempo de levantamento, como exemplo um levantamento de 30,00 m<sup>2</sup> com o método tradicional demorou cerca de 4 horas, enquanto o laser scanning

demorou cerca de 30 minutos e com uma clara maior precisão [5]. Outra vantagem é o facto de podermos estar a modelar no conforto do nosso local de trabalho e a redução dos custos, seja de transporte ou alojamento. Para conseguirmos ver e/ou editar a nuvem de pontos, existe software gratuito, o que também é uma mais-valia. Para além disso, ao contrário do levantamento tradicional, é necessária apenas uma pessoa para realizar este levantamento de forma rápida.

Os sistemas das duas centrais térmicas teriam demorado cerca de duas semanas para o levantamento rigoroso no método tradicional e entre duas a três semanas para modelação das condições existentes. Contudo, com a nuvem de pontos, em duas semanas elaborou-se o levantamento e modelação das condições existentes.

Uma perspetiva relevante que pode ser vista como uma desvantagem, é o desgaste apresentado no equipamento, nomeadamente o sobreaquecimento dos processadores e/ou placas gráficas, havendo necessidade de utilizar placas gráficas com grande capacidade devido ao grande volume de dados dos ficheiros [3,4,9]. Outra desvantagem identificada é o facto de não existir forma de carregar as nuvens de pontos num ficheiro IFC, que seria muito útil em fases intermédias de desenvolvimento do projeto, para visualização e partilha. Além disso, acaba por ser sempre imprescindível voltar ao local para tirar dúvidas de espaços “escondidos”, que se apresentam desfocados na análise do laserscanning, havendo sempre esta questão do alcance e perceção da visualização.

Analisando o fluxo de trabalho utilizado neste caso de estudo, considera-se, para futuros trabalhos de natureza idêntica, a necessidade de, na fase de planeamento do levantamento da nuvem de pontos, uma aferição mais precisa dos níveis de iluminação dos locais a levantar, assim como da existência de superfícies refletoras. Deverão ainda ser identificadas áreas onde o levantamento deva ser mais minucioso devido à existência de elementos/objetos de menor dimensão e/ou maior detalhe, considerando-se a eventual necessidade de medições manuais e fotografias de pormenor. Deste modo poderão evitar-se novas deslocações ao local.

## Referências

- [1] Assis, Paula; Figueira, Ricardo; Gilabert, Pablo, “Plataforma Open BIM para o projeto de engenharia” in *Livro de Atas, Modelos de Gestão e Informação – BIM, Construção*, 2018
- [2] Haratz, Jacques, “Descarbonizar com eficiência no setor do turismo” in *AVAC Magazine* 3, janeiro/março 2023.
- [3] Abreu, Nuno; Pinto, Andry; Matos, Aníbal; Pires, Miguel, “Procedural Point Cloud Modelling in Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM Applications: A Review” in *International Journal of Geo-Information* 2023,12,260, 2023

- [4] Waykar, Yashwant, “A Comparative Analysis of Photogrammetry and LIDAR Technology for Heritage Site Conservation”, in *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management (IJSREM)*, abril 2022.
- [5] Abd-Elmaaboud, Ahmed; El-Tokhey, Mohamed; Ragheb, Ahmed; Mogahed, Yasser, “Comparativa Assessment of Terrestrial Laser Scanner Against Traditional Surveying Methods” in *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, abril 2019.
- [6] Randall, Tristan, “Client Guide to 3D scanning and Data Capture”, in *BIM Task Group*, 2013.
- [7] <https://www.cloudcompare.org/>
- [8] <https://leica-geosystems.com/>
- [9] Fonseca, Joaquim; Fernandes, Herlander; Santos, Luis, “Tecnologia Laser Scanning na Realização de Levantamentos Topográficos de Precisão” in *VII CNCG Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, Sessão Técnica 5.2, Ordem dos Engenheiros*.



# Utilização de drones na gestão de instalações de armazenamento de água e de resíduos industriais

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.40>

**Pedro Ferreira<sup>1</sup>, Luis Ribeirinho<sup>1</sup>,  
Gonçalo Tavares<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> TPF – Consultores de Engenharia e Arquitetura, S.A., Lisboa

## Resumo

Os drones, também conhecidos como *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV), têm desempenhado um papel transformador na indústria da engenharia. Neste artigo, discute-se o impacto destes veículos equipados com câmara e sensores, destacando a sua crescente integração com o *Building Information Modelling* (BIM). Os drones encontram aplicações em diversos domínios, desde levantamentos topográficos até monitorização de locais de construção, inspeções estruturais e monitorização ambiental. O caso de estudo destacado neste artigo ilustra o seu uso na prestação de serviços em instalações de armazenamento de água e de resíduos industriais. Esta prestação de serviços inclui a modelação da deposição de resíduos, a avaliação da capacidade de armazenamento de água e de resíduos e o controlo geométrico tanto da estrutura de contenção como dos resíduos. Estas atividades baseiam-se nos ortofotomapas e na nuvem de pontos gerados pelo levantamento com drone. A tecnologia subjacente à produção desses elementos envolve um drone de alta precisão com posicionamento cinemático em tempo real (RTK), software de planeamento de voo, fotogrametria e ferramentas de processamento de nuvens de pontos. Este artigo também aborda alguns desafios como a interferência das superfícies refletoras na fase de processamento das nuvens de pontos, da regulamentação associada ao uso de UAVs e das limitações meteorológicas. Com os avanços tecnológicos em UAVs e Inteligência Artificial, é esperada uma maior integração destas tecnologias em projetos de infraestruturas em grande escala. Este artigo destaca o papel vital dos drones como uma ferramenta essencial no cenário moderno da engenharia.

## 1. Introdução

Os drones, frequentemente designados por *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV) são veículos operados sem um piloto a bordo [1]. Inicialmente concebidos para aplicações militares, estas plataformas aéreas evoluíram rapidamente para se tornarem instrumentos fundamentais em várias outras áreas [2]. No cenário da engenharia atual, a integração de drones deu início a uma mudança de paradigma nas metodologias convencionais, gerando uma infinidade de vantagens [3]. Proporcionam soluções rentáveis, melhoram as medidas de segurança em inspeções de risco e apresentam capacidades de resposta rápida a missões de levantamento aéreo. Além disso, a sua aptidão para obter dados precisos, realizar mapeamento de áreas e monitorizar operações de infraestruturas catalisa a eficiência, a tomada de decisões informadas e estratégias de manutenção proativas [4].

A associação das tecnologias BIM e drones resulta num poderoso conjunto de ferramentas, tecnologias e metodologias que, em conjunto, possibilitam uma abordagem transformadora na criação e administração de projetos. A integração de drones na estrutura do BIM amplifica as capacidades de gestão de projetos, aproveitando a recolha de dados aéreos com sensores sofisticados e tecnologia de imagem. Os drones com câmaras de alta resolução, sensores e sistemas GNSS captam dados com grande rigor do local, oferecendo uma representação visual abrangente do ambiente do projeto [5]. Estas perspetivas aéreas complementam as ferramentas digitais do BIM, melhorando a visualização do projeto e a precisão dos dados ao longo do ciclo de vida do projeto. Os dados aéreos capturados integram-se perfeitamente no software BIM, permitindo um mapeamento preciso para a modelação 3D e uma análise espacial com grande rigor [6]. Esta integração aumenta o rigor da documentação do projeto e facilita a tomada de decisões informadas, fornecendo às partes interessadas informações atualizadas e detalhadas sobre a área de estudo [7].

Além disso, os drones contribuem para melhorar as práticas de gestão da construção. Facilitam inspeções regulares ao local, avaliações estruturais e monitorização do progresso, oferecendo uma alternativa económica e eficiente em termos de tempo aos métodos manuais tradicionais. Ao capturar dados de alta qualidade com rapidez e precisão, os drones aumentam as capacidades de monitorização e controlo de qualidade do projeto BIM [8].

## 2. Estudo de caso: drones em instalações de armazenamento de água e resíduos industriais

A TPF – Consultores de Engenharia e Arquitetura, S.A. (TPF Consultores), no âmbito de um *Engineer of Record* (EOR) para serviços para instalações de armazenamento de rejeitados e água é responsável pela produção de relatórios detalhados sobre o progresso da construção das bermas internas de descarga de rejeitados espessados (resíduos industriais mineiros) e dos sistemas ativos de deposição de rejeitados. Estes relatórios, realizados anual e mensalmente, englobam diversas avaliações, como o

registro de dados geométricos e operacionais, registros fotográficos e recomendações específicas do local. As avaliações mensais envolvem descrições aprofundadas, documentação fotográfica, avaliação da evolução da deposição e planos de deposição suportados por levantamentos e modelação. Para obter estes relatórios, a TPF Consultores utiliza um drone DJI Phantom 4 RTK para realizar os levantamentos. Os dados aéreos recolhidos são processados através da plataforma DroneDeploy baseada na nuvem, produzindo nuvens de pontos, ortofotomapas e facilitando a visualização, partilha, e análises entre mapas. Além disso, os softwares CloudCompare, Autodesk Civil 3D, GeoHECHMS e Muk3D são utilizados em conjunto com os dados gerados pela plataforma DroneDeploy. Estas ferramentas auxiliam na realização dos levantamentos topográficos com precisão dentro dos requisitos exigidos para este tipo de trabalho, incluindo a modelação avançada e análise volumétrica, o que resulta em relatórios e planeamento abrangentes e precisos.

## 2.1. Barragem de rejeitados

Uma barragem de rejeitados é um reservatório feito para reter resíduos sólidos e água resultantes dos processos de extração de minérios. Estes resíduos são bombeados em forma líquida para o local de retenção e depositados usando diferentes métodos [9]. Estas barragens estão entre as maiores estruturas construídas no mundo [10].

Neste caso de estudo, a área de deposição estende-se por 237 hectares, medindo nos seus pontos mais afastados, 2,1 quilómetros de comprimento de Este para Oeste e 1,7 quilómetros de Norte para Sul, com um desnível altimétrico de 40 metros. Uma grande parte desta área é inacessível, não sendo possível realizar-se inspeções e levantamentos topográficos utilizando métodos clássicos.

## 2.2. DJI Phantom 4 RTK

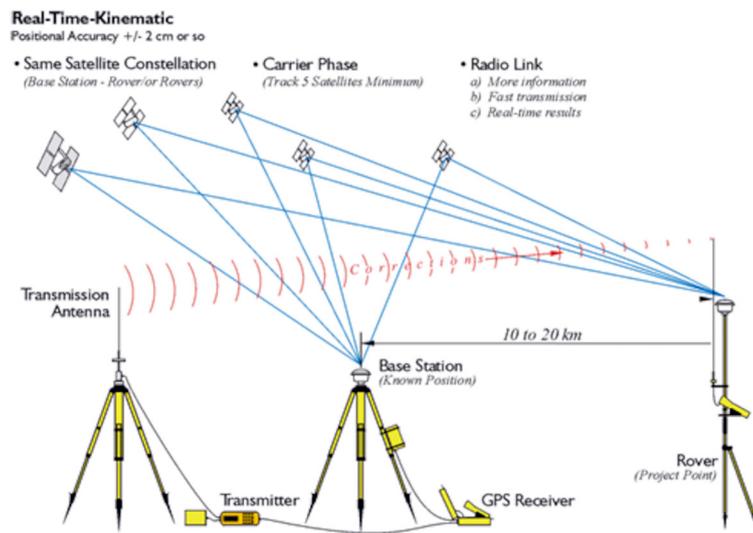
O drone utilizado neste caso de estudo foi o DJI Phantom 4 RTK, equipamento que se destaca por integrar um sistema *Real-Time Kinematic* (RTK) que garante uma precisão dentro da tolerância do projeto. Possui uma autonomia em voo de aproximadamente 30 minutos com uma bateria, uma câmara com um sensor de 1" CMOS e 20 Megapixel e uma velocidade mecânica do obturador de 8 - 1/2000 s. O DJI Phantom 4 RTK satisfaz também os requisitos de precisão de mapeamento para o "standard" Digital Orthophotos Class III [11].

## 2.3. Posicionamento RTK

O posicionamento RTK é uma técnica utilizada para melhorar a precisão de uma solução de navegação através das observações emitidas por posicionamento global por satélite (GNSS), como o GPS, GLONASS, Galileo e BeiDou [12]. Esta técnica é baseada na utilização da medição simultânea da fase das ondas portadoras dos sinais capturados pelo drone e por uma estação de referência permanente com coordenadas

conhecidas, sendo as observações capturadas por esta estação enviadas através de um sistema de comunicação diretamente para o drone, corrigindo as observações capturadas por este. Esta técnica permite mitigar a maior parte dos erros que afetam o posicionamento. As observações capturadas por uma estação de referência GNSS permanente, de observação contínua, permitem ser utilizadas como correções para posicionamento RTK numa área de raio aproximado de 20 quilómetros. Neste caso, a estação de referência GNSS permanente utilizada pertence à Rede Nacional de Estações Permanentes (ReNEP), cuja gestão e manutenção está a cargo da Direção Geral do Território (DGT). Com esta técnica é possível alcançar valores de precisão na ordem de poucos centímetros [13] [14]. A figura 1 [15] mostra um diagrama ilustrativo do método de posicionamento GNSS RTK.

**Figura 1**  
Real-Time Kinematic.  
Fonte: GPS for Land Surveyors.



## 2.4. Planeamento do voo e aquisição de imagens

Neste caso de estudo, o processo de planeamento de voo foi executado utilizando as capacidades do DroneDeploy e a aplicação DJI GS RTK. A utilização combinada destes programas permitiu uma abordagem precisa ao planeamento da missão, incorporando funcionalidades avançadas para uma definição ótima dos parâmetros de voo e uma precisão centimétrica durante a navegação e recolha de dados.

Antes do primeiro voo nesta área, foi efetuada uma verificação pré-voo do drone e dos seus acessórios para garantir que estavam em boas condições. A distância da amostragem do solo (GSD), foi determinada a partir da altura de voo e dos parâmetros da câmara, calculada utilizando a seguinte fórmula [16]:

$$GSD = \frac{S_i \times H \times 100}{F_r \times IM_i}$$

em que  $S_l$  é a largura real do sensor (mm),  $H$  a altura do voo (m),  $F_r$  é a distância focal real (mm) e  $IM_l$  é a largura da imagem (px). Sabendo as características da câmara deste drone foi possível calcular o GSD, em que  $S_l$  é igual a 13,2 mm,  $H$  é igual a 90 m,  $F_r$  é igual a 8,8 mm e  $IM_l$  é igual a 5472 px, o que resulta num GSD de 2,47 cm/px.

A fase subsequente envolveu a importação do mapa de base da área de estudo (definido no formato \*.kmz) para o DroneDeploy. Esta etapa foi essencial para calcular a duração do voo e a quantidade de baterias necessárias, bem como para efetuar ajustes essenciais na área delimitada para o voo, como a otimização da sobreposição de imagens. Estas medidas garantiram que o ficheiro .kmz importado para a aplicação DJI GS RTK fosse ajustado para um bom desempenho durante as missões. Utilizando o padrão de voo definido pela aplicação DJI GS RTK, o DJI Phantom 4 RTK consegue cobrir a totalidade da área de forma automática em passagens paralelas, captando fotografias sobrepostas da área de estudo. Neste caso de estudo, são normalmente captadas aproximadamente 2900 fotografias todos os meses (figura 2), num período que pode levar entre 5 e 8 horas para toda a área. Esta diferença de tempo explica-se pelas condições atmosféricas e pelo tempo necessário para adquirir o número mínimo de satélites.

#### Map Details Summary <sup>i</sup>

Project Name	24Out2023
Photogrammetry Engine	DroneDeploy Proprietary
Date Of Capture	Oct 24, 2023
Date Processed	Oct 26, 2023
GSD Orthomosaic (GSD DEM)	2.59cm/px (DEM 10.36cm/px)
Area Bounds (Coverage)	5739071.48m <sup>2</sup> (59%)
Image Sensors	DJI - FC6310R
Average GPS Trust	0.06m

#### Quality & Accuracy Summary <sup>i</sup>

Image Quality	High texture images
Median Shutter Speed	1/240
Images Uploaded (Aligned %)	2956 (100%)
Camera Optimization	0.00% variation from reference intrinsics
GCP & Checkpoint count	74 GCPs - Mean RMS Error 3.15cm 18 Checkpoints - Mean RMS Error 2.44cm

**Figura 2**

Extrato do relatório produzido após o processamento no DroneDeploy.

Neste processo são utilizados pontos de controlo (GCP) que servem como marcadores de referência no solo com coordenadas conhecidas e são utilizados para melhorar a qualidade e precisão dos mapas. Os pontos de verificação (Checkpoints) são pontos de referência adicionais, utilizados para validar de forma independente a qualidade e a precisão dos mapas. Mensalmente, antes dos voos, é realizado o levantamento topográfico clássico destes pontos.

## 2.5. Processamento das imagens

O processamento de dados é uma fase crítica no fluxo de trabalho da operação, e o DroneDeploy é uma plataforma abrangente para o tratamento eficiente e a

extração de informações significativas dos dados aéreos recolhidos. Após o drone ter completado a sua missão e captado as imagens da área designada, as imagens são carregadas para a plataforma DroneDeploy. O software utiliza algoritmos fotogramétricos avançados para gerar um mapa aéreo preciso, nuvem de pontos e modelos tridimensionais. Estes mapas e modelos fornecem informações importantes sobre a topografia e das características gerais do terreno. O DroneDeploy simplifica também o cálculo de volumes e áreas para fins de construção. Ao tirar partido dos modelos 3D e dos dados geoespaciais, a plataforma permite medir com precisão volumes e áreas, o progresso da construção e a ocupação do solo. A plataforma facilita também a colaboração e a comunicação entre os membros da equipa, fornecendo ferramentas de anotação e colaboração. Os utilizadores podem marcar diretamente pontos de interesse específicos nos mapas, partilhar ideias e colaborar em tempo real. Esta funcionalidade aumenta a eficiência global das equipas de projeto, permitindo uma rápida tomada de decisões com base nos dados analisados. Além disso, o DroneDeploy permite aos utilizadores exportar os dados processados em vários formatos, incluindo mapas georreferenciados, modelos 3D e nuvens de pontos.

## 2.6. Processamento da nuvem de pontos

Após ter sido gerada a nuvem de pontos no DroneDeploy, o passo seguinte consiste em exportá-la da plataforma e importá-la para um software especializado de processamento de nuvens de pontos. O processamento de nuvens de pontos, especialmente quando se trata de conjuntos de dados extensos, pode ser uma tarefa complexa. No presente estudo, o DroneDeploy gera aproximadamente 60 milhões de pontos. Ainda assim, o uso de ferramentas e técnicas adequadas permite que este processo seja eficiente.

O CloudCompare oferece recursos robustos para a classificação e processamento rápido de nuvens de pontos [17]. O CloudCompare aborda um dos principais desafios no processamento de nuvens de pontos – a limpeza de dados, funcionalidade que aumenta consideravelmente a qualidade e a confiabilidade dos dados. Esta solução oferece também ferramentas de filtragem para remover ruídos ou valores divergentes do conjunto de dados da nuvem de pontos. Apesar de isso não limpar diretamente corpos de água, com as ferramentas de segmentação no CloudCompare são separadas as áreas específicas de interesse dentro da nuvem de pontos, permitindo a limpeza do ruído produzido por esses corpos. Outra funcionalidade do CloudCompare é a ferramenta de rasterização. Trata-se de um recurso poderoso para converter as nuvens de pontos numa grelha *raster* 2.5D que depois permite gerar curvas de nível [18] na escala 1:100.

É esse conjunto de curvas de nível, que é importado para o Autodesk Civil 3D com o propósito de gerar o Modelo Digital do Terreno (DTM). Esse modelo, uma representação digital das características topográficas do terreno, é então partilhado entre todos os membros da equipa por meio de um *datashortcut*. Este processo permite que todos os profissionais envolvidos no projeto tenham acesso ao DTM atualizado e possam colaborar de forma consistente e eficiente no desenvolvimento e planeamento do projeto.

## 2.7. Modelação e análise avançada

Para a modelação e análise avançada é utilizado o software Muk3D, que oferece um conjunto abrangente de ferramentas para aumentar significativamente a produtividade e a eficiência, reduzindo os custos e o tempo investido em tarefas de análise e modelação 3D. O Muk3D é um software especializado em modelação 3D complexa, centrando-se principalmente em instalações de armazenamento de rejeitados e estruturas de terraplanagem de grande escala. Com o Muk3D, os especialistas podem simular dinamicamente o processo de enchimento das instalações com base em diversos dados, incluindo as características dos rejeitados e a colocação dos pontos de descarga. Complementando as funcionalidades do Muk3D, o Autodesk Civil 3D fornece uma plataforma versátil para o projeto e a documentação de engenharia civil aproveitando o DTM partilhado. Esta estrutura colaborativa facilita as capacidades de análise melhoradas, os processos de tomada de decisão informados e os fluxos de trabalho simplificados, integrando eficazmente a capacidade de modelação e documentação.

Para os especialistas que utilizam o GeoHECHMS – um software de análise e simulação centrado na modelação hidrológica e hidráulica – a interação colaborativa entre o Muk3D e o Autodesk Civil 3D também apresenta vantagens. Estes especialistas podem aceder a dados precisos do terreno integrando estes modelos partilhados com o GeoHECHMS, garantindo simulações hidrológicas e hidráulicas precisas. Este modelo de dados partilhados fornece uma base confiável para modelar o fluxo de água, a erosão e o transporte de sedimentos. É assim possível realizar análises abrangentes combinando os recursos de modelagem de terraplanagem e rejeitados do Muk3D com as simulações hidrológicas do GeoHECHMS. Esta integração permite uma avaliação mais holística dos padrões de fluxo de água, movimento de sedimentos e riscos de erosão. O modelo compartilhado é uma referência comum, garantindo a consistência na representação do terreno no Muk3D, Autodesk Civil 3D e GeoHECHMS. Esta plataforma partilhada promove fluxos de trabalho colaborativos entre especialistas em modelação e gestão da água. Isto simplifica a configuração e inicialização de modelos, reduzindo a introdução manual de dados e potenciais erros.

## 3. Desafios e considerações

Abordar os desafios e considerações associados à integração de drones na engenharia implica lidar com vários fatores que podem influenciar a sua utilização eficaz, incluindo:

- Interferência de superfícies refletoras: estas representam um desafio durante o processamento de nuvens de pontos, causando imprecisões na recolha e análise de dados. Encontrar métodos para mitigar estas interferências, como ajustar as trajetórias de voo ou empregar técnicas de levantamento alternativas, torna-se crucial para um processamento preciso de dados.

- **Quadro regulamentar:** o uso de drones está sujeito a diretrizes e regulamentos rigorosos. A conformidade com as estruturas legais relativas a permissões de voo, restrições de espaço aéreo, segurança e privacidade de dados é essencial. A adesão a estas diretrizes garante a utilização responsável e legal da tecnologia de drones.
- **Restrições Meteorológicas:** as condições climáticas têm um impacto significativo nas operações dos drones. Condições meteorológicas adversas, como ventos fortes, precipitação ou baixa visibilidade, podem dificultar os voos dos drones, afetando os horários de trabalho e a precisão da coleta de dados. As estratégias para gerir e adaptar os fluxos de trabalho às limitações relacionadas com o clima são fundamentais para manter a eficiência operacional.

Aliar a integração do BIM com sistemas de informação geográfica (SIG) e o potencial da inteligência artificial (IA) como desafios e considerações essenciais neste contexto também é crucial para compreender o panorama futuro destas tecnologias.

A integração do BIM com SIG representa um desafio e uma oportunidade [19]. Embora estas tecnologias ofereçam conjuntos de dados valiosos e complementares, a sua integração eficaz ainda é um desafio. A harmonização de padrões, formatos de dados e processos entre o BIM, que se concentra na representação 3D detalhada de edifícios e infraestruturas, e o SIG, que se concentra na análise espacial e geográfica, requer abordagens cuidadosas para garantir uma colaboração eficiente e a troca de informações sem perdas [20]. Por outro lado, a IA pode desempenhar um papel crucial na integração entre BIM e SIG e na análise avançada dos dados, permitindo a deteção automatizada de padrões, identificação de anomalias e até previsões mais precisas.

A colaboração entre estas tecnologias promete ampliar ainda mais a capacidade de análise, previsão e tomada de decisão, oferecendo uma visão mais holística e eficiente na fase de projeto, construção, gestão e manutenção [21].

No entanto, superar os desafios de integração, garantir a conformidade regulatória e ética [22], desenvolver algoritmos de IA robustos e confiáveis, e desenvolver medidas de cibersegurança fortes, são imperativos para aproveitar todo o potencial destas tecnologias [23].

#### 4. Conclusão

A integração de drones na gestão de instalações de armazenamento de água e resíduos industriais representa um avanço fundamental na engenharia. Este artigo pretende ilustrar a transformação que os drones, aliados a software avançado, trouxeram para a captura, processamento e análise de dados em larga escala desempenhando também um papel central na aquisição de dados aéreos precisos e detalhados, permitindo a visualização de áreas extensas, muitas vezes inacessíveis por métodos convencionais. A sua conjugação com plataformas como DroneDeploy

simplifica não apenas o processamento de imagens, mas também a colaboração entre equipas, oferecendo uma visão detalhada do terreno, cálculos precisos e uma base sólida para análises complexas. O processamento e a análise de dados utilizando plataformas de software como as abordadas neste artigo, demonstram a capacidade de gerar informações sobre o terreno. Estes recursos permitem simulações precisas, fundamentais para avaliar o enchimento de barragens de rejeitados e garantir a segurança e eficácia destas estruturas. A colaboração entre software especializado, a partilha eficaz de dados e a integração de várias tecnologias exemplificam a sinergia entre drones, processamento de dados e modelação avançada. A contínua evolução tecnológica e a adaptação a desafios em constante mudança são cruciais para maximizar o potencial dos drones na Engenharia, promovendo uma abordagem mais eficiente, precisa e segura.

## Referências

- [1] F. Nex e F. Remondino, «UAV for 3D mapping applications: a review», *Appl. Geomat.*, vol. 6, n.º 1, pp. 1-15, mar. 2014, doi: 10.1007/s12518-013-0120-x.
- [2] K. Al-Dosari, Z. Hunaiti, e W. Balachandran, «A Review of Civilian Drones Systems, Applications, Benefits, Safety, and Security Challenges», em *The Effect of Information Technology on Business and Marketing Intelligence Systems*, vol. 1056, M. Alshurideh, B. H. Al Kurdi, R. Masa'deh, H. M. Alzoubi, e S. Salloum, Eds., em *Studies in Computational Intelligence*, vol. 1056., Cham: Springer International Publishing, 2023, pp. 793-812. doi: 10.1007/978-3-031-12382-5\_43.
- [3] R. Salvini *et al.*, «UAV-mounted Ground Penetrating Radar: an example for the stability analysis of a mountain rock debris slope», *J. Mt. Sci.*, vol. 20, n.º 10, pp. 2804-2821, out. 2023, doi: 10.1007/s11629-023-8162-y.
- [4] F. Nex e F. Remondino, «Preface: Latest Developments, Methodologies, and Applications Based on UAV Platforms», *Drones*, vol. 3, n.º 1, p. 26, mar. 2019, doi: 10.3390/drones3010026.
- [5] D. F. R. Parracho, «Processos Digitais para a Realização de Levantamentos Fotogramétricos e Termográficos com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT)», Universidade do Porto (Portugal), 2021.
- [6] S. I. Cho, J. H. Lim, S. B. Lim, e H. C. Yun, «A Study on DEM-based Automatic Calculation of Earthwork Volume for BIM Application», *J. Korean Soc. Surv. Geod. Photogramm. Cartogr.*, vol. 38, n.º 2, pp. 131-140, 2020, doi: 10.7848/ks-gpc.2020.38.2.131.
- [7] C. Bonilla, B. Brentan, I. Montalvo, D. Ayala-Cabrera, e J. Izquierdo, «Digitalization of Water Distribution Systems in Small Cities, a Tool for Verification and Hydraulic Analysis: A Case Study of Pamplona, Colombia», *Water*, vol. 15, n.º 21, p. 3824, nov. 2023, doi: 10.3390/w15213824.

- [8] S. Lee, J. Y. Bae, A. Sharafat, e J. Seo, «Waste Lime Earthwork Management Using Drone and BIM Technology for Construction Projects: The Case Study of Urban Development Project», *KSCE J. Civ. Eng.*, dez. 2023, doi: 10.1007/s12205-023-1245-z.
- [9] D. Kossoff, W. E. Dubbin, M. Alfredsson, S. J. Edwards, M. G. Macklin, e K. A. Hudson-Edwards, «Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation», *Appl. Geochem.*, vol. 51, pp. 229-245, dez. 2014, doi: 10.1016/j.apgeochem.2014.09.010.
- [10] S. G. Vick, «Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams», 2020, doi: 10.14288/1.0394902.
- [11] «Phantom 4 RTK - Product Information – DJI», DJI Official. Acedido: 23 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.dji.com/pt/phantom-4-rtk/info>
- [12] N. Shen *et al.*, «A Review of Global Navigation Satellite System (GNSS)-based Dynamic Monitoring Technologies for Structural Health Monitoring», *Remote Sens.*, vol. 11, n.º 9, p. 1001, abr. 2019, doi: 10.3390/rs11091001.
- [13] L. C. R. P. Silva, «Avaliação e melhoramento de qualidade posicional de base de dados geográficos de sinalização rodoviária», 2019, [Em linha]. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/125672/2/378531.pdf>
- [14] «Bem-vindo à página da ReNEP | ReNEP». Acedido: 23 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://renep.dgterritorio.gov.pt/>
- [15] «RTK and the Federal Communications Commission (FCC) | GEOG 862: GPS and GNSS for Geospatial Professionals». Acedido: 27 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1845>
- [16] Y.-H. Tu, S. Phinn, K. Johansen, A. Robson, e D. Wu, «Optimising drone flight planning for measuring horticultural tree crop structure», *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 160, pp. 83–96, 2020.
- [17] T. Beni *et al.*, «Classification of rock slope cavernous weathering on UAV photogrammetric point clouds: The example of Hegra (UNESCO World Heritage Site, Kingdom of Saudi Arabia)», *Eng. Geol.*, vol. 325, p. 107286, nov. 2023, doi: 10.1016/j.enggeo.2023.107286.
- [18] «Rasterize – CloudCompareWiki». Acedido: 25 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php/Rasterize>
- [19] J. Cho, C. Kim, K. J. Lim, J. Kim, B. Ji, e J. Yeon, «Web-based agricultural infrastructure digital twin system integrated with GIS and BIM concepts», *Comput. Electron. Agric.*, vol. 215, p. 108441, dez. 2023, doi: 10.1016/j.compag.2023.108441.

- [20] A. M. Abd, A. H. Hameed, e B. M. Nsaif, «Documentation of construction project using integration of BIM and GIS technique», *Asian J. Civ. Eng.*, vol. 21, n.º 7, pp. 1249-1257, nov. 2020, doi: 10.1007/s42107-020-00273-9.
- [21] Z. Liu, X. Gu, Y. Chen, e Y. Chen, «System Architecture and Key Technologies for the Whole Life Cycle of Smart Road», *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1972, n.º 1, p. 012105, jul. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1972/1/012105.
- [22] E. Redondo, «Investigación aplicada al ámbito de la expresión gráfica arquitectónica por medios digitales. Marco de referencia y hoja de ruta», *VLC Arquít. Res. J.*, vol. 10, n.º 2, pp. 203-224, out. 2023, doi: 10.4995/vlc.2023.19787.
- [23] M. Chiang e T. Zhang, «Fog and IoT: An Overview of Research Opportunities», *IEEE Internet Things J.*, vol. 3, n.º 6, pp. 854-864, dez. 2016, doi: 10.1109/JIOT.2016.2584538.



# Desenvolvimentos BIM no Plano Geral de Drenagem de Lisboa: Modelação, planeamento físico e integração com o SIG

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.41>

**Tiago Andrade Gomes<sup>1</sup>, Gonçalo Diniz Vieira<sup>1</sup>,  
Luís Ribeirinho<sup>2</sup>, Ricardo Pontes Resende<sup>3</sup>,  
António Hipólito<sup>4</sup>, Catarina Feio<sup>4</sup>,  
Sebastien Roux<sup>5</sup>, Paulo Gordinho<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Equipa de projeto para o Plano Geral de Drenagem de Lisboa/Câmara Municipal de Lisboa, Lisboa*

<sup>2</sup> *TPF – Consultores de Engenharia e Arquitetura, S.A., Lisboa, <https://orcid.org/0000-0002-3486-6326>*

<sup>3</sup> *ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, <https://orcid.org/0000-0002-2155-5625>*

<sup>4</sup> *Mota-Engil SA, Lisboa, <https://orcid.org/0000-0002-9662-1308>*

<sup>5</sup> *Limsen Consulting, Lisboa*

## Resumo

O Plano Geral de Drenagem de Lisboa é uma ambiciosa infraestrutura que irá mitigar os efeitos das cheias e alterações climáticas na cidade de Lisboa. É constituído por uma variedade de intervenções na rede de drenagem pluvial da cidade, a maioria subterrâneas. As obras mais emblemáticas são a escavação de dois túneis que atravessam a cidade e transferem água das chuvas entre bacias hidrográficas, aliviando a rede no centro e na zona baixa da cidade. Dada a importância da obra, interferências com redes existentes e acima de tudo a necessidade de a gerir de forma eficiente durante as próximas décadas, o BIM foi adotado para o projeto e a obra, tendo sido já publicado um artigo no PTBIM 2022 sobre os desafios da implementação do BIM no Plano Geral de Drenagem de Lisboa. Desde 2022 registou-se uma notável evolução com a exploração e implementação de ferramentas e técnicas BIM para a modelação do projeto, que tem várias características singulares, para o planeamento físico da construção através de uma plataforma web baseada na tecnologia Autodesk Platform Services [1] desenvolvida pelo Adjudicatário Mota Engil e a integração dos modelos com os Sistemas de Informação Geográfica do dono de Obra, a Câmara Municipal de Lisboa. Para além da descrição dos desenvolvimentos, este trabalho reforça a importância da abertura à inovação entre todos os intervenientes, a capacidade de adaptação e desenvolvimento de novas ferramentas, e sua transversalidade nas organizações. Este trabalho descreve estes desenvolvimentos, sendo outro artigo apresentado no PTBIM dedicado à Comunicação com os *stakeholders* do projeto, ao Acompanhamento e Controlo de obra.

## 1. Introdução

A implementação da metodologia Building Information Modeling (BIM) em grandes projetos de infraestruturas é uma prática cada vez mais comum no cenário global da engenharia e construção. Esta tendência reflete não a evolução da tecnologia e nos utilizadores, que se tornam em alguns casos produtores de novas ferramentas, mas também uma mudança paradigmática na forma como projetos de grande complexidade são concebidos, planeados e executados.

Em Portugal, apesar da ausência de incentivos por parte do Estado, o meio técnico e as universidades têm desenvolvido e aplicado as suas capacidades tecnológicas por sua iniciativa, tendo-se chegado em casos pontuais a níveis de qualidade e inovação muito interessantes. Do lado dos donos de obra o panorama é mais heterogéneo. No setor público, mesmo na ausência de um mandato explícito, apesar das recentes iniciativas legislativas do governo, alguns organismos começam a exigir usos BIM em concursos, sendo esse o caso da obra do Plano Geral de Drenagem de Lisboa, que incluiu o BIM no concurso lançado em 2018.

Sendo o BIM uma disciplina relativamente recente, a sua aplicação em obras de infraestruturas urbanas está menos disseminada e desenvolvida que, por exemplo, nos edifícios. Desde o início dos trabalhos preparatórios que se tornou evidente que esta obra exigiria uma cooperação apertada entre os intervenientes diretos e indiretos, e ferramentas tecnológicas que pudessem responder a desafios concretos. Neste trabalho expõem-se três desenvolvimentos tecnológicos que se consideraram serem dignos de nota: a exploração e implementação de ferramentas e técnicas BIM singulares para a modelação do projeto, o planeamento físico da construção através de uma plataforma web baseada na tecnologia Autodesk Platform Services desenvolvida pelo Adjudicatário Mota Engil. Finalmente, a integração dos modelos com os Sistemas de Informação Geográfica do dono de Obra, a Câmara Municipal de Lisboa. Para além da descrição dos desenvolvimentos, este trabalho reforça a importância da abertura à inovação entre todos os intervenientes, a capacidade de adaptação e desenvolvimento de novas ferramentas, e sua transversalidade nas organizações.

O presente artigo propõe-se a explorar e detalhar a implementação e os desenvolvimentos do BIM no contexto específico do Plano Geral de Drenagem de Lisboa (PGDL), um projeto ambicioso e de grande importância para a infraestrutura urbana da capital de Portugal. Através desta análise, pretendemos demonstrar como o BIM, mais do que um recurso tecnológico, representa uma abordagem integrada e colaborativa, crucial para o sucesso de empreendimentos de grande envergadura e complexidade técnica.

## 2. Enquadramento

O Plano Geral de Drenagem de Lisboa (PGDL) é a mais importante obra atual em Lisboa, trazendo à cidade uma marca de inovação e sustentabilidade urbana e

respondendo aos desafios das alterações climáticas e da urbanização acelerada. As obras mais emblemáticas deste plano são a construção de dois grandes túneis de drenagem de águas residuais, maioritariamente pluviais, com um diâmetro interno de 5,5 m. O túnel mais longo liga a bacia da zona norte de Lisboa, intercetando o Caneiro de Alcântara no sopé de Monsanto, conduzindo a água diretamente ao rio em Santa Apolónia num percurso de cerca de 5 km. O segundo túnel tem aproximadamente 1 km e liga a zona de Chelas ao Beato. O plano é mais abrangente que esta duas obras e visa não só mitigar o risco de inundações, mas também incorpora um sistema de distribuição de água reciclada. Complementando este esforço, será construída uma bacia antipoluição com um reservatório de 16.500 m<sup>3</sup> e três poços de vórtice distribuídos pela cidade [2] que transferem a água das redes locais para os túneis, a cotas inferiores. Esta é a maior obra lançada pelo município e será praticamente invisível após a sua conclusão, mas durante o seu desenvolvimento tem um impacto significativo na cidade, contando com sete estaleiros ativos em pontos estratégicos de Lisboa: Campolide, Av. da Liberdade, Rua de Santa Marta, Av. Almirante Reis, Santa Apolónia, Chelas e Beato.

Desde o artigo de 2022 apresentado no ptBIM, a implementação da metodologia BIM no PGDL tem evoluído significativamente. O BIM tem sido uma ferramenta crucial durante a fase de projeto e construção, melhorando a gestão da informação e a comunicação entre as entidades envolvidas, e é esperado que tenha um papel fundamental na fase de manutenção e gestão do sistema.

A escavação automatizada dos túneis com recurso a uma TBM (Tunnel Boring Machine) de escudo fechado, é complementada pelo uso intensivo do BIM, aplicado nas obras subterrâneas, mas também nas superficiais, minimizando os impactos e garantindo a segurança durante a construção num ambiente urbano, histórico e denso como o de Lisboa.

Ao refletir sobre a evolução desde o artigo anterior, observa-se um avanço significativo em diversos aspetos:

- Na Modelação: Os avanços na modelação BIM, em parte resultado de novas ferramentas desenvolvidas para o projeto, têm sido essenciais, com melhorias na eficiência e na representação da complexidade do projeto.
- Na implementação do Uso 4D: A integração do aspeto temporal (4D) com a plataforma Mota-Engil BIM *Viewer* tem aprimorado a compreensão do projeto de todos os envolvidos, permitindo um acompanhamento e gestão mais eficaz da obra.
- Na integração com o Sistema de Informação Geográfica (SIG) da Câmara Municipal de Lisboa (CML): A integração pioneira dos modelos BIM com os sistemas SIG da CML é um avanço significativo na gestão de infraestruturas urbanas e na sua relação com a envolvente urbana, em particular com as infraestruturas enterradas. Esta integração aponta já para o futuro *Digital Twin* do projeto, essencial para a sua operação.

O PGDL, aliado à metodologia BIM, estabelece Lisboa como um exemplo de cidade Inteligente, Resiliente e Sustentável. A utilização desta metodologia não só otimiza a fase de projeto e construção, mas também antevê uma gestão eficiente da infraestrutura a longo prazo, estabelecendo um modelo para futuras obras urbanas que combinam tecnologia avançada, planeamento detalhado e colaboração interdepartamental.

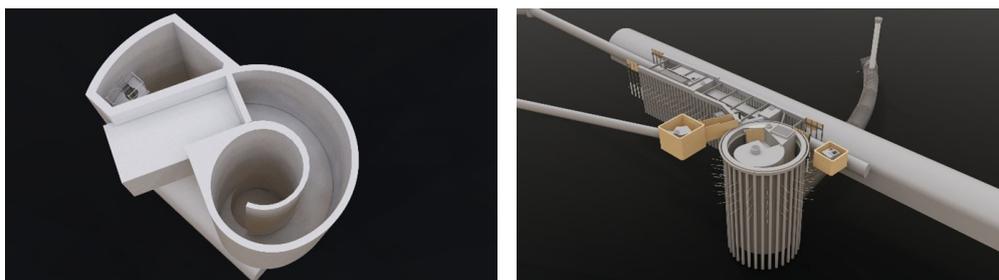
Sendo a sua utilidade já inquestionável, estes desenvolvimentos põem problemas concretos à equipa, principalmente devido ao elevado esforço para o seu desenvolvimento, que inclui a aprendizagem das ferramentas informáticas, sejam elas o Dynamo, a API do Revit, as frameworks de trabalho na net ou a Autodesk Platforms Services, dentro de empresas de engenharia. Por outro lado, é também já evidente a utilidade destes desenvolvimentos dentro das várias organizações envolvidas.

### 3. Modelação

A modelação das 21 obras desta empreitada caracteriza-se por formas volumétricas de geometria complexa, pouco ou nada ortogonais, plásticas e com desenvolvimentos pouco convencionais.

Daí que para a modelação, particularmente nas câmaras de vórtice, elementos que fazem a ligação entre as caixas de recolha das águas dos arruamentos e ligação às galerias intermédias dos túneis principais (TMSA e TCB), e nos próprios túneis principais e de ligação, recorremos a software e fluxos de modelação diferentes dos usuais, tendo mesmo sido desenvolvidos automatismos internos que resolvem o que os softwares correntes não fazem. Para o efeito foram desenvolvidos automatismos recorrendo ao Dynamo para Revit para as aplicações mais simples e aplicações desenvolvidas diretamente sobre a API do Revit em linguagem C# para as ferramentas mais exigentes ou de utilização mais frequente:

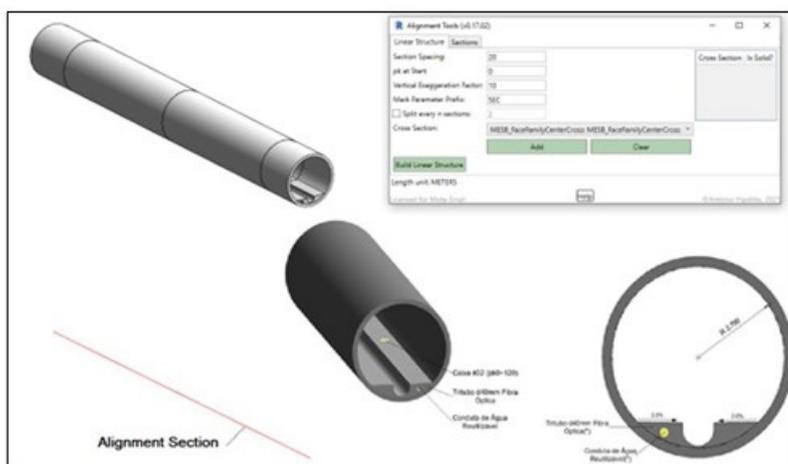
**Figura 1**  
Imagens dos modelos das câmaras de vórtice (exemplo).



O desenvolvimento do Add-In interno para o Revit METools permite, entre outros:

- Transformação de elementos modelados em software externos em famílias Revit;
- Manipulação booleana de sólidos como corte, adição e subtração;
- Geração automática de túneis através dos elementos 2D do perfil, alinhamento e secção transversal;

- Conversor de tubagens desenvolvidas em software externos em famílias nativas Revit;
- Atribuição de sistema de coordenadas para correta georreferenciação dos modelos;
- Cópia de vistas e folhas entre modelos.

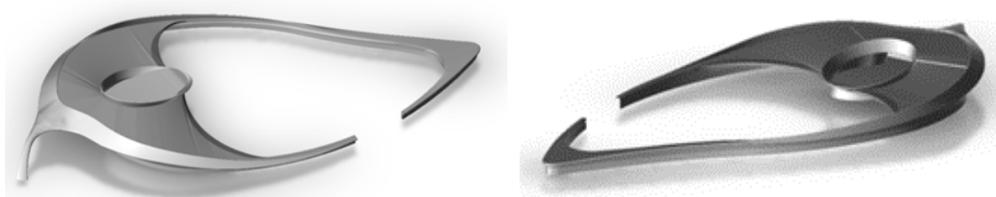


**Figura 2**  
Geração e segmentação automática de túneis com ferramenta desenvolvida para o projeto.

Como referido, recorreremos também ao Dynamo para a criação de rotinas próprias para o cumprimento dos EIR do BEP, tais como:

- Listagem de versões internas dos links;
- Conversão de nomes de famílias;
- Substituição de parâmetros;
- Preenchimento de parâmetros em equipamentos importados de modelos IFC.

Em casos pontuais, como na LandArt de Santa Apolónia, estrutura escultórica com cerca de 90 m de desenvolvimento, recorreu-se a modelação geométrica em softwares adicionais como o Autocad 3D ou o Blender, sendo posteriormente importado para famílias Revit.



**Figura 3**  
Modelação da LandArt.

Para validação da modelação foram utilizadas ferramentas complementares:

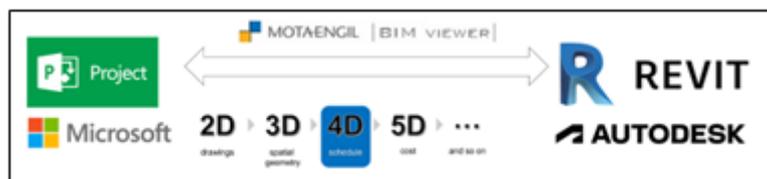
- Navisworks, para Clash Detection, com características muito especiais nesta empreitada como por exemplo a sobreposição de ancoragens de contenção,

- sobreposição de equipamentos das diferentes áreas e georeferenciação dos modelos;
- Standardized Data Tool da Autodesk para atribuição de classificação Uniclass definida no BEP;
- Model Checker para a garantia de cumprimento dos EIR antes da submissão oficial ao Dono de Obra.

#### 4. Integração do planeamento físico 4D

De modo a dinamizar o planeamento físico na quarta dimensão do BIM, foi desenvolvida pela Mota-Engil uma plataforma inovadora, baseada na tecnologia Autodesk Platform Services (APS, anteriormente Forge), que permite associar ao modelo 3D desenvolvido em Revit o planeamento físico desenvolvido em MS Project, representando essa junção num visualizador Web acessível por todas as partes interessadas com permissão para o efeito, sem recurso a softwares específicos adicionais.

**Figura 4**  
Esquema geral de ligação do planeamento MS Project aos modelos 3D Revit.



Os principais objetivos do desenvolvimento interno do MOTA-ENGIL BIM VIEWER são:

- Rápida curva de aprendizagem para os utilizadores (equipas de planeamento, modelação, direção de obra, fiscalização, cliente);
- Melhoria da comunicação e coordenação entre os intervenientes, recorrendo ao mínimo de plataformas/software;
- Visualização gráfica do planeamento de atividades e respetiva taxa de execução sobre os vários modelos 3D em simultâneo, em ambiente federado (total de 45 modelos);
- Elevada customização do ponto de vista, incluindo possibilidade de ocultar objetos, fazer cortes, etc.;
- Possibilidade de gravar vistas pré-definidas por utilizador, partilhadas ou não pelos restantes;
- Sincronismo automático com a base MS Project aprovada e possibilidade de estudo de novos cenários;
- Desenvolvimento para a Empreitada da PGDL, mas com possibilidade de escalar para outras empreitadas e com inclusão de novas funcionalidades, entretanto já implementadas.

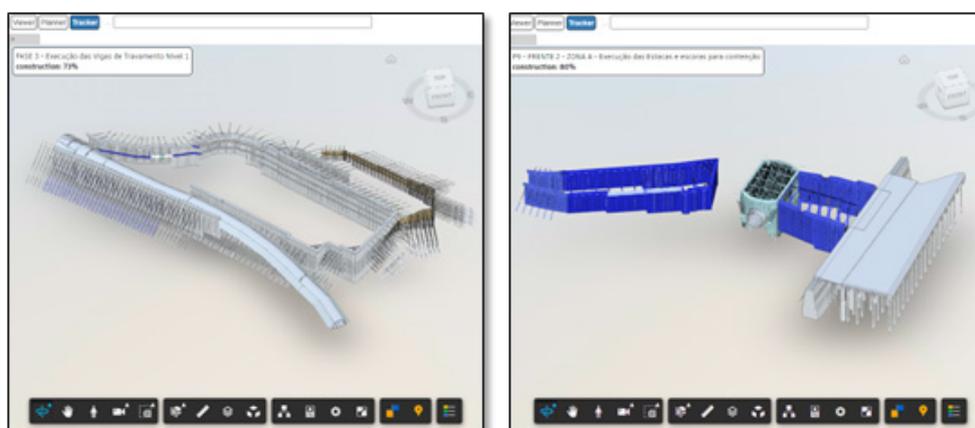
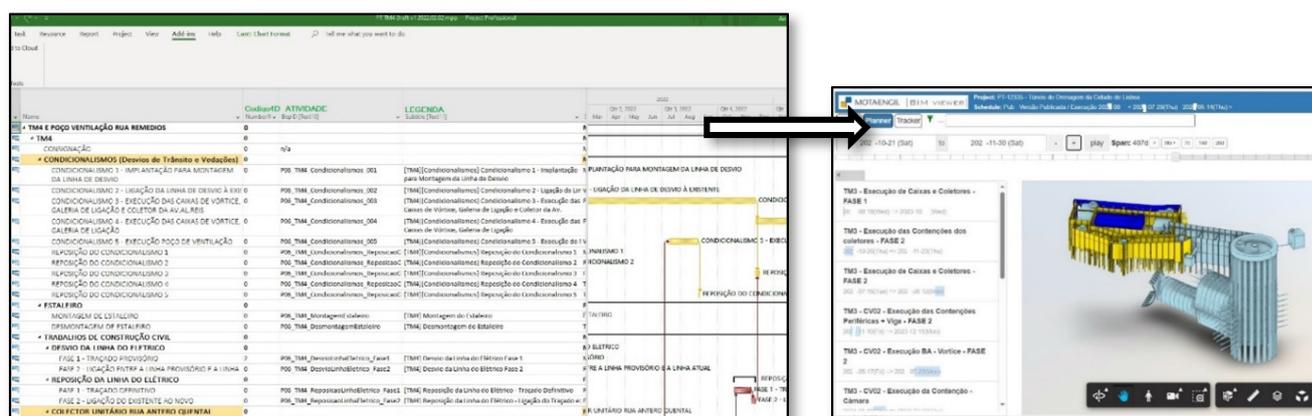
Método:

- Do lado da equipa do Planeamento: complemento do MS Project com informação que permite a correta ligação aos modelos Revit; manutenção

da metodologia prévia e já existente de atualização do plano de trabalhos e respetiva taxa de execução em ambiente MS Project;

- ii. Do lado da equipa de Modelação: complemento dos modelos com Informação não Geométrica que permite a correta ligação às atividades do MS Project;
- iii. Com a periodicidade definida e sempre que necessário, sincronismo direto do MS Project com a plataforma, atividade que demora poucos segundos a executar, atualizando de uma só vez as datas planeadas e as percentagens executadas; esta atividade é executada diretamente no MS Project podendo por isso ser realizada pelo próprio técnico de planeamento.

**Figura 5**  
Inclusão do planeamento MS Project na plataforma Mota-Engil BIM Viewer.



**Figura 6**  
Acompanhamento da percentagem de execução real na plataforma Mota-Engil BIM Viewer.

## 5. Integração com o sistema de informação geográfica

A gestão urbana moderna exige ferramentas que permitam uma compreensão detalhada e integrada do território municipal. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) emergiram como um pilar central na estratégia de planeamento e gestão urbana, desempenhando um papel fundamental no planeamento de uma Lisboa cada vez mais dinâmica e preparada para os desafios do futuro.

Na vanguarda da inovação tecnológica e da gestão urbana, a integração dos sistemas BIM e SIG representa uma aliança estratégica que a CML está pronta para explorar.

Neste contexto, o Plano Geral de Drenagem de Lisboa (PGDL) surge como um candidato ideal para esta sinergia, atuando como um caso de estudo primordial para esta integração. O PGDL, com a sua escala significativa e a sua complexidade multifacetada, oferece um terreno fértil para a aplicação desta convergência tecnológica.

A integração dos túneis de drenagem de Lisboa no sistema SIG representa uma inovação na gestão urbana, oferecendo uma visão tridimensional abrangente do tecido da cidade. Este projeto estende-se por diversas zonas urbanas e, ao harmonizar modelos 3D nativos com infraestruturas preexistentes, proporciona aos gestores e técnicos uma representação dinâmica e integrada das complexas infraestruturas de Lisboa, tanto na superfície quanto no subsolo.

Almeja-se assim que este caso se torne num exemplo expondo o que a integração BIM-SIG pode trazer para a gestão de infraestruturas urbanas: uma visão holística que transcende as limitações tradicionais de planeamento e gestão, estabelecendo um novo padrão para a administração municipal numa era cada vez mais digital.

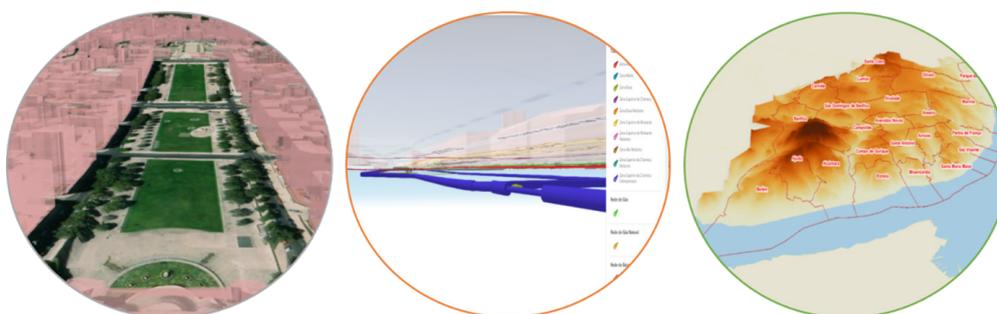
No cerne da integração BIM-SIG empreendida pela CML, reside o objetivo de maximizar o valor da Informação Geográfica (IG) de base. O PGDL, como projeto-chave nesta iniciativa, serviu de catalisador para um aprofundamento no modo como os dados são visualizados e manipulados no ambiente do *WebScene*. A equipe encarregue desta integração empenhou-se em enriquecer a representação dos dados, tanto em dimensão vetorial quanto *raster*, para criar uma experiência de visualização mais rica e interativa.

Por forma a enriquecer a visualização altimétrica dos edifícios foi feita uma análise espacial sobrepondo a camada dos edifícios existentes com a cartografia base do concurso de 2018 na escala 1:1000. Esta sobreposição interagiu com a entidade gráfica "Ponto de cota no beirado do telhado ou Platibanda", o que permitiu um enriquecimento do atributo de elevação dos edifícios existentes, realçando assim a paisagem urbana de Lisboa e fornecendo um contexto mais detalhado e uma compreensão aprimorada da topografia da cidade. No que respeita a componente subterrânea do edificado a abordagem adotada para calcular a profundidade consistiu na multiplicação do número de pisos soterrâneos por três metros, fornecendo assim uma estimativa de profundidade dos mesmos.

Aprimorou-se igualmente a visualização tridimensional das redes subterrâneas de serviços afetados, como redes de gás, ou de água alterando-se a simbologia. Optou-se por uma representação tubular para conferir uma perceção mais intuitiva das redes subterrânea baseada nos diâmetros listados na tabela de atributos do elemento, como foi o caso das redes da EPAL. Quando os diâmetros não estavam disponíveis, recorreu-se a padrões estabelecidos para cada tipo de rede. Esta abordagem aguarda a integração das redes de saneamento, refletindo o compromisso contínuo com a melhoria e a precisão na modelação da infraestrutura urbana subterrânea de Lisboa.

A equipa enfrentou desafios ao trabalhar com a superfície altimétrica de referência predefinida no *WebScene*, que, à escala de Portugal, possui uma resolução espacial de

20-30 metros. Após uma análise mais detalhada, identificaram-se discrepâncias na conformidade posicional altimétrica, observando-se que algumas estruturas, como hidráulicas e caixas de visita, estavam incorretamente representadas abaixo do nível do solo. Para corrigir estas inconsistências, foi integrado o Modelo Digital do Terreno (MDT) da CML com uma resolução de 2x2 metros em GDB, que é oficialmente utilizado internamente na CML. Convertido para o sistema de coordenadas WGS 84, e posteriormente publicado como "Surface Layer" no ArcGIS Online (AGOL), este aperfeiçoamento não só elevou a qualidade da informação como também reforçou a visão integrada proporcionada pelo visualizador.



**Figura 7**  
Enriquecimento da visualização dos elementos SIG.

Os dados referentes aos projetos BIM importados em formato Revit foram alvo de configurações cartográficas em ambiente de projeto ArcGIS Pro, nomeadamente com transformações de formato, resultando no formato Building Scene Layer Package (SLPK). Esta informação, em conjunto com as referidas anteriormente, foi então integrada e publicada no ArcGIS on-line. Projetado para ser intuitivo, o visualizador não requer conhecimentos avançados em SIG, democratizando o uso desta ferramenta poderosa para todos os utilizadores.

Entre as ferramentas disponíveis neste visualizador, destacam-se:

- Ferramentas de Consulta, Seleção e Medição: Projetadas para serem fáceis de usar, estas ferramentas permitem que os utilizadores realizem pesquisas detalhadas, selecionem elementos específicos para análise mais aprofundada e meçam distâncias e áreas com precisão;
- Ferramenta de Corte: Uma função particularmente útil que possibilita aos utilizadores cortar através dos modelos para examinar secções específicas das infraestruturas, revelando as complexidades ocultas do planeamento urbano de Lisboa;
- Explorador de Edifícios: Uma ferramenta exclusiva que se concentra nas camadas de informação derivadas do BIM, permitindo a exploração detalhada dos edifícios e estruturas, tanto na superfície quanto no subsolo.

Este conjunto de ferramentas enriquece não só a capacidade dos utilizadores de compreender e interagir com o ambiente construído e as infraestruturas de Lisboa, mas também destaca a dedicação da CML em fornecer soluções inovadoras e eficientes para a gestão e planeamento urbanos.

A integração BIM-SIG na CML revela-se crucial não apenas na melhoria da gestão de dados urbanos, mas também como uma ferramenta de prevenção de conflitos infraestruturais. Uma análise espacial neste sistema permitiu, por exemplo, detetar uma colisão que passara despercebida, entre a projeção de um novo coletor na Avenida Infante D. Henrique e uma conduta existente da EPAL de 800 mm de diâmetro. Este acontecimento sublinha a capacidade do sistema integrado em identificar e resolver questões críticas antes da execução das obras, melhorando significativamente a coordenação e o planeamento urbano.

A descoberta desta interseção crítica evidencia como a melhoria na visualização das redes subterrâneas, um dos marcos da integração BIM-SIG, oferece uma compreensão mais aprofundada das infraestruturas de Lisboa, promovendo decisões de planeamento mais informadas. Além disso, o refinamento do cadastro e a capacidade de realizar simulações espaciais para alocar novas infraestruturas garantem um desenvolvimento mais sustentável e harmonioso para a cidade.

A jornada para a integração BIM-SIG transcendeu a colaboração técnica, cultivando uma verdadeira cooperação interdepartamental dentro da CML. Este processo uniu diferentes departamentos em torno de um objetivo comum, fomentando uma partilha de conhecimento e experiências que se reflete em todas as facetas do projeto.

Esta cooperação alimentou uma visão holística da gestão urbana, onde a integração dos dados BIM com o SIG fornece uma visão completa e integrada da cidade. O resultado é uma ferramenta interoperável que não só facilita a integração de Informação Geográfica de diversas fontes, mas também promove soluções inovadoras que beneficiam a cidade como um todo.

**Figura 8**  
Integração dos modelos de Sta. Apolónia no SIG.



## 6. Conclusões

A implementação da metodologia BIM no Plano Geral de Drenagem de Lisboa tem sido um marco no avanço da gestão de infraestruturas urbanas, destacando-se em várias áreas-chave. A modelação BIM, com suas inovações e automatismos personalizados, tem desempenhado um papel crucial na representação precisa da complexidade do projeto. A integração temporal do planeamento 4D, através da plataforma Mota-Engil BIM *Viewer*, aprimorou significativamente a compreensão e gestão do projeto, melhorando a comunicação e coordenação entre as equipas. Além disso, a integração pioneira dos modelos BIM com os sistemas SIG da Câmara Municipal de Lisboa representou um avanço significativo, oferecendo uma visão holística e integrada da cidade. Esta abordagem inovadora otimiza, não apenas, a fase de projeto e construção, mas também prepara o terreno para uma gestão eficiente a longo prazo da infraestrutura. Ao solidificar o papel de Lisboa como uma cidade inteligente, resiliente e sustentável, o PGDL estabelece um modelo exemplar para futuros projetos urbanos.

Entre as principais dificuldades nestes desenvolvimentos, podemos elencar a aprendizagem de várias linguagens de programação, que foi parcialmente colmatada pelas equipas internas de desenvolvimento, com apoio pontual das empresas que desenvolvem os software BIM e SIG, a Autodesk e a Esri. Os custos de desenvolvimento são amortizados relativamente rápido, devido à dimensão do projeto e à transversalidade das soluções, que podem ser aplicadas noutros projetos, com poucas adaptações.

## 7. Referências

- [1] Autodesk Platform Services. <https://aps.autodesk.com/>. Consultado em 2024/02.15.
- [2] Matos, J. S., Monteiro, A., Santos, A., Ferreira, F., Guimarães, J., Leboeuf, Y., Gama, C. (Julho de 2019). OBRAS DE DESVIO, INTERCEÇÃO E DE DESCARGA DOS TÚNEIS DE MONSANTO – STA. APOLÓNIA E DE CHELAS-BEATO.



# **Parte IV – Gestão de empreendimentos e da construção**



# Gestão integrada: GeoBIM no gerenciamento de grandes obras

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.42>

Sanderllan Costa<sup>1</sup>, Juliana Scanoni<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TPF Engenharia, Recife, Brasil.

## Resumo

A modelagem de informações de construção (BIM) é uma abordagem para a construção que utiliza modelos 3D digitais para representar um projeto de construção. O SIG (Sistema de Informações Geográficas) é um sistema de informação que armazena, gerencia e analisa dados geoespaciais. A combinação de BIM e SIG, conhecida como GeoBIM, oferece uma série de benefícios para a gestão de projetos de construção. A Gestão Integrada é um conjunto de recursos que permite que as equipes de projeto integrem dados BIM, financeiros e de engenharia em um único ambiente. O dashboard da Gestão Integrada fornece uma visão geral do projeto, incluindo o avanço físico e financeiro, a realidade virtual do construído e do modelado e a conexão com o CDE da Autodesk. É uma ferramenta com alto potencial e que pode ajudar as equipes de projeto a gerenciarem projetos de construção de forma mais eficaz. A combinação de dados, em ambiente BIM, financeiros, de engenharia, visualização, análise de dados e colaboração, com a Gestão Integrada do GeoBIM pode ajudar as equipes a tomar decisões informadas, identificar problemas, acompanhar o progresso do projeto e no gerenciamento e supervisão de obras.

## 1. Contextualização da interligação BIM-SIG

A integração entre *Building Information Modeling* (BIM) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem se destacado como uma área de grande potencial para transformar a indústria da construção. No "BIM Handbook" [1], o BIM oferece uma representação digital detalhada de edifícios e infraestruturas, enquanto o SIG tem sua grande importância nas análises geoespaciais [3]. A interligação entre BIM e SIG como uma tecnologia emergente capaz de revolucionar o setor, tornando-o mais eficiente, eficaz e sustentável [6].

A combinação entre BIM e SIG apresenta vantagens significativas em várias áreas. Li et al. [2] discutem a importância da colaboração entre diferentes disciplinas na era da Indústria 4.0, reforçando o potencial dessa integração para aprimorar o ciclo de vida de edifícios e infraestruturas. A revisão de Alonso e Aranda [6] destaca que essa interligação é crucial para o planejamento urbano e regional, permitindo identificar oportunidades de desenvolvimento sustentável e melhorar a eficiência operacional, alinhando-se com Zlatanova et al. [4] ao considerar o contexto das cidades inteligentes.

Os estudos de Tang e Huber [3] sobre o uso de SIG no planejamento ambiental convergem com as análises de Alonso e Aranda [6], que examinam as principais abordagens para a integração BIM e SIG. Eles identificam diversas estratégias, desde abordagens baseadas em arquivos até plataformas de integração, para unir efetivamente esses sistemas. Essa revisão do estado da arte é crucial para compreender não apenas as possibilidades dessa interligação, mas também seus desafios, como mencionado por Ding et al. [5] em seu trabalho sobre sistemas de apoio à decisão para o planejamento urbano.

A conclusão fornecida por Alonso e Aranda [6] destaca o potencial revolucionário da interligação entre BIM e SIG, delineando não apenas suas aplicações em planejamento urbano, gerenciamento de ativos e inspeção, mas também suas várias abordagens e desafios. Esse artigo serve como um guia fundamental para compreender a complexidade e o impacto dessa tecnologia emergente no setor da construção.

## 2. Caso de estudo

O caso de estudo consiste num projeto de recuperação de água de lavagem dos filtros e destinação adequada do lodo gerado no processo de uma Estação de Tratamento de Água (ETA). Este projeto atende a uma demanda de uma Companhia de Saneamento Básico no Brasil, com o intuito de interromper o lançamento do lodo proveniente da ETA, sem o devido tratamento, no meio ambiente. A modelagem tridimensional com uso do software Autodesk Revit trouxe grande benefícios ao processo, pois a estrutura em questão é centenária e os registros existentes de sua execução eram em meio físico. Desta forma, após o levantamento planialtimétrico cadastral da área de projeto, fez-se o georreferenciamento da estrutura e iniciou-se a modelagem

dos tanques. Outra vantagem da modelagem, foi o fato dos decantadores existentes serem em curva e da exigência do cliente de aproveitar um dos decantadores para execução das futuras estruturas. Desta forma, a visualização tridimensional auxiliou muito no entendimento do projeto por parte da equipe e do cliente, onde as discussões das soluções, em grande parte do processo, ocorreram em reuniões entre as equipes técnicas da TPF e do cliente, facilitando o entendimento e as sugestões de alteração. Definida a estrutura e o projeto hidromecânico, foram desenvolvidos os projetos hidrossanitários e drenagem das áreas e unidades previstas, sendo possível a realização de detecção de conflitos durante a fase de desenvolvimento, não sendo necessário o processo de *clash detection*.

Desta forma, a modelagem da estrutura buscou facilitar o detalhamento de algumas soluções com o emprego de famílias provenientes de alguns fabricantes (como tubulações de ferro fundido e PVC e de equipamentos como motobombas e misturadores submersos), contudo, outras famílias tiveram que ser criadas pela equipe, como no caso dos raspadores de lodo dos fundos dos decantadores e dos tanques de recuperação de água de lavagem e de acúmulo de lodo. Inicialmente construído com o primeiro modelo BIM, mas pensando no acompanhamento e interação futura, houve a necessidade de uma plataforma que concentre todos os modelos e documentos, e que seja possível visualizar e interagir com os modelos.

### 3. Solução

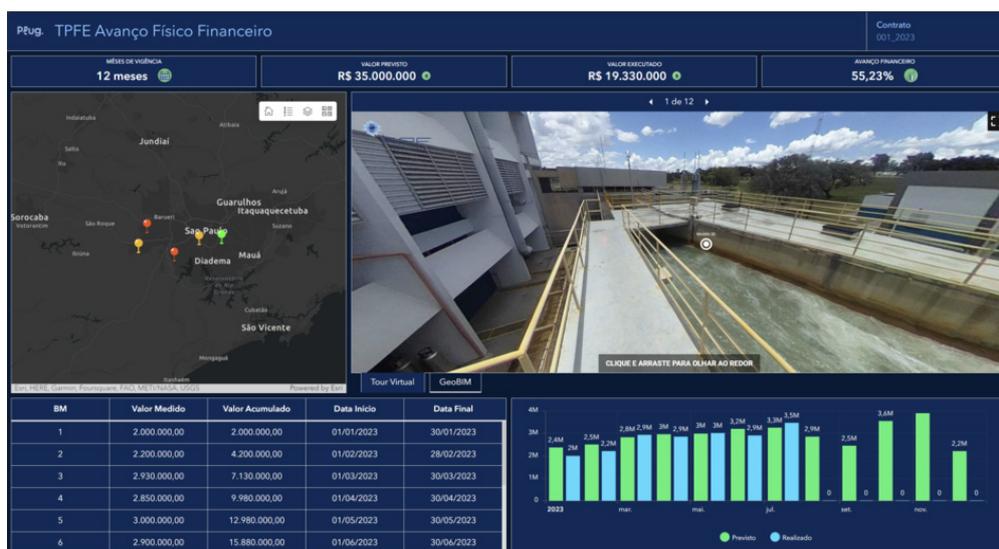
O GeoBIM é uma solução da empresa Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI), possui uma visão integrada do ambiente construído ao combinar as funções de análise geoespacial do SIG com as informações detalhadas e precisas em ambiente BIM. Essa integração ofereceu uma compreensão holística do ambiente construído, permitindo a visualização, análise e gestão de dados BIM em um contexto geográfico robusto. Por outro lado, o CDE (*Common Data Environment*) da Autodesk, conhecido como ACC (*Autodesk Construction Cloud*), é uma plataforma colaborativa com a gestão centralizada de dados e documentos ao longo do ciclo de vida de um projeto de construção. O ACC possui recursos para armazenar, compartilhar e colaborar em modelos BIM, documentos, cronogramas e outras informações cruciais do projeto, o que garantiu a transparência, precisão e atualização das informações para todas as partes envolvidas. A aplicação ArcGIS *Dashboards* é uma ferramenta disponível no ArcGIS Online, com ela é possível montar suas informações e interligar diversos dados seja ele vetorial ou tabular, incluindo também soluções externas com a função *embed*.

Para a construção da Gestão Integrada, foi elaborado um banco de dados relacional suportando, atributos, feições, link externo entre outros, com o banco de dados construído é desenvolvido o mapa bidimensional que uma vez integrada ao meu *dashboard* é possível extrair informações quantitativas relacionada aos atributos, construir filtros envolvendo as feições, reproduzir conteúdos externos alocados por meio de link como imagens, vídeos ou pdfs.

A solução é um *dashboard* multifuncional, projetado para oferecer uma visão abrangente e integrada do avanço físico e financeiro dos contratos em um único ambiente. Esse *dashboard* se destaca pela sua capacidade de conectar dados provenientes de diferentes fontes, oferecendo uma análise completa do progresso dos contratos. Integrando tabelas de acompanhamento mensal, gráficos de resumo do avanço previsto versus realizado e um mapa bidimensional, nossa solução fornece uma perspectiva holística do status atual dos contratos.

Na Figura 1 encontra-se o dashboard de acompanhamento, no botão contratos é possível navegar por todos os contratos vigentes tendo os valores atualizados por contrato selecionado, logo abaixo os valores resumos do contrato como meses de vigência, valor previsto total, valor executado e avanço financeiro. Na visão bidimensional é possível ligar outras camadas externas e interpolar a localização das obras com feições como dados ambientais, plano diretor da cidade, linhas de transmissão e diversos outros dados. A aplicação permite ainda visualizar um tour virtual do que foi modelado no projeto e do real construído. A tabela resumo apresentada traz o avanço mês a mês é interligada com o tour virtual, atualizando ao clicar nos avanços. O gráfico resumo do valor previsto x realizado consegue resumir mensalmente todo andamento do projeto.

**Figura 1**  
Dashboard de Acompanhamento.



A funcionalidade de acompanhamento mensal permite uma análise detalhada do progresso em relação às metas estabelecidas, enquanto os gráficos de resumo oferecem uma visão comparativa entre o que foi planejado e o que foi executado. O mapa bidimensional, por sua vez, permite uma visualização geográfica precisa da localização dos contratos, proporcionando uma compreensão espacial dos projetos em andamento. Essas camadas externas permitem uma sobreposição rápida e análise detalhada de elementos contextuais, enriquecendo a compreensão do ambiente em que os contratos estão inseridos.

Além disso, introduzimos uma inovação adicional ao *dashboard*: imagens 360° que oferecem um "tour virtual" pelos ambientes modelados e sua correspondência com o progresso real. Essas imagens fornecem uma representação visual imersiva do avanço mensal, permitindo uma comparação detalhada entre a realidade física e as projeções modeladas. Essa abordagem inovadora adiciona uma dimensão visual e contextual ao acompanhamento mensal, possibilitando uma compreensão mais profunda e precisa do avanço dos contratos.

Na Figura 2, o GeoBIM retrata o projeto modelado com seus atributos e filtros pré-estabelecidos, a interoperabilidade entre o modelo e o ACC funciona não só para ligação entre os modelos em diferentes nuvens, mas entre o acompanhamento de *Issues* abertas e resolvidas nos diferentes ambientes.

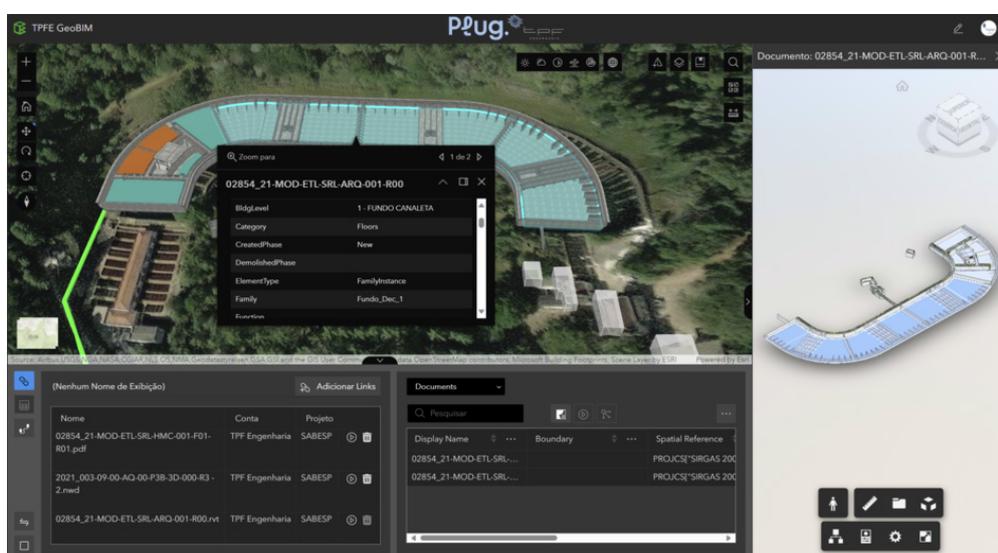


Figura 2  
GeoBIM.

Um bom gerenciamento de projetos é realizado com uma boa troca de informação entre os gestores e as equipes de projetos e essa troca acontece com identificação de problemas (*Issues*) e sua localização para correção. A Figura 3 apresenta a abertura de uma janela de visualização dos problemas pelo GeoBIM atribuindo a sua localização geográfica. Na Figura 4, apresenta-se a tabela de aberturas de problemas e a sua identificação já vista através do CDE, explicitando a integração das duas nuvens.

**Figura 3**

Abertura de uma *Issue* no GeoBIM.

**Figura 4**

Acompanhamento de *Issues* no GeoBIM e no CDE.



A conectividade direta entre o GeoBIM da ESRI e o CDE da Autodesk proporcionou uma sinergia entre análise geográfica e informações detalhadas de construção. Essa integração possibilitou uma colaboração eficiente entre os diferentes sistemas, permitindo a unificação de todos os modelos BIM e documentos encontrados no ACC. Dessa forma, os usuários puderam aproveitar as capacidades de análise espacial do GeoBIM enquanto acessam e trabalham com os dados hospedados no ambiente colaborativo do CDE, criando uma experiência mais fluida e integrada para o gerenciamento de informações em projetos de construção.

Além disso, essa integração possibilitou a criação de *Issues* dentro do ambiente colaborativo, uma funcionalidade essencial para os gerentes de projeto. As *Issues* permitiram que os gerentes monitorassem e solicitassem alterações às equipes de projetos, facilitando o acompanhamento de problemas, a atribuição de responsabilidades e o rastreamento de resoluções. Essa capacidade oferecida pelo ACC dentro do contexto do GeoBIM aprimora significativamente a eficiência na identificação, comunicação e solução de problemas durante o ciclo de vida do projeto de construção.

## 5. Conclusão

A integração entre o GeoBIM e o CDE representa um avanço significativo na gestão de projetos de construção, permitindo uma sinergia entre a análise geoespacial avançada e a colaboração centralizada de dados. Essa integração promove uma compreensão mais ampla e detalhada dos projetos, desde análises ambientais até simulações de cenários, resultando em decisões mais informadas e eficientes. Ao unificar os dados e fornecer um ambiente colaborativo, essa interligação reforça a transparência, reduz retrabalhos e aprimora a precisão ao longo do ciclo de vida do projeto.

Além disso, a nossa solução de *dashboard* vai além ao oferecer uma interface centralizada e multifuncional para o acompanhamento dos contratos. Com uma gama diversificada de funcionalidades, como tabelas de acompanhamento mensal, gráficos comparativos de avanço, mapas geográficos e imagens 360°, o *dashboard* proporciona uma visão detalhada e integrada do progresso físico e financeiro dos contratos. Essa abordagem inovadora não apenas agrega valor à gestão de projetos, mas também oferece uma representação visual imersiva do progresso, permitindo análises comparativas entre o planejado e o executado.

Em resumo, a combinação da integração entre GeoBIM e CDE com a nossa solução de *dashboard* resulta em uma abordagem mais holística e eficiente para o gerenciamento de projetos de construção. Essa sinergia entre tecnologia avançada e uma plataforma de análise visual permite uma gestão mais precisa, colaborativa e informada dos contratos, impulsionando a qualidade, sustentabilidade e eficiência no setor da construção.

## Referências

- [1] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. John Wiley & Sons, 2011.
- [2] Li, H., Wu, P., Luo, H., & Wu, C. (2018). Collaborative design and engineering (CDE) for buildings in the era of Industry 4.0: Review and conceptual framework. *Automation in Construction*, 92, 355-366.
- [3] Tang, W., & Huber, M. (2016). The application of GIS in environmental planning: A case study in Xinjiang, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(11), 1066.
- [4] Zlatanova, S., Stoter, J., & Fendel, E. M. (2019). Geospatial technology in smart cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(5), 215.
- [5] Ding, Y., Li, G., & Xu, Z. (2022). BIM+GIS-based decision support system for urban planning. *Frontiers of Built Environment*, 8(3), 152.
- [6] Alonso, L., & Aranda, M. (2022). BIM+GIS: A review of the state of the art. *Automation in Construction*, 129, 103619.



# Estudo de caso da aplicação do planejamento 4D em uma residência unifamiliar alto padrão

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.43>

**Bárbara Norões<sup>1</sup>, Tiago Bastos<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Unifor, Fortaleza, 0000-0001-7279-9382

<sup>2</sup> Unifor, Fortaleza, 0009-0003-9255-9636

## Resumo

Este artigo visa à abordagem dos benefícios e malefícios do uso do *Building Information Modeling* (BIM) aplicado ao planejamento de uma obra residencial unifamiliar de alto padrão localizada no município do Eusébio – Ceará. Para este estudo, tornou-se necessário construir virtualmente os projetos de arquitetura, estrutura, canteiro de obras, instalações elétricas e hidrossanitárias a partir do *software* Revit, além da elaboração do planejamento no Microsoft Project para vinculação das atividades do cronograma aos modelos pré-concebidos no programa Navisworks, gerando o planejamento 4D. Os clientes optaram por um projeto personalizado que sofreu mudanças significativas do escopo inicial, assim, o uso da metodologia BIM permitiu a gestão e análise das modificações, gerando a atualização em tempo real do modelo, do orçamento e do planejamento. Assim, sua aplicação resultou numa maior interação da equipe executiva e dos clientes, que passaram a deter de maior conhecimento da obra, a partir da simulação em tempo real do cronograma, permitindo a tomada de decisões assertivas em virtude da previsão de problemas antes da execução. Entretanto, identificou-se que a implementação dessas tecnologias exige um elevado investimento em equipamentos e em licenças dos programas. Além disso, a contratação de profissionais capacitados é imprescindível para tornar o processo viável.

## 1. Introdução

O avanço da tecnologia aplicado à engenharia civil tem trazido diversas inovações ao processo tradicional da construção, impactando desde a etapa de planejamento até a entrega da obra. Nesse contexto, [1] afirma que o planejamento é a chave do sucesso de qualquer empreendimento, seja ele público ou privado. Uma vez que é nessa etapa se define a estratégia para a construção do empreendimento, elencando as prioridades e o fluxo de trabalho. Assim, o uso da metodologia BIM tem revolucionado o processo construtivo a partir de um modelo virtual multidimensional, parametrizado e rico em informações, o qual permite a preconcepção da edificação, prevendo problemas e, conseqüentemente, otimizando todas as fases da obra. [2]

Conforme [3] o BIM é fundamentado em três pilares: pessoas, tecnologias e processos. Assim, o modelo virtual assegura uma melhor visualização e interpretação dos projetos, conectando a cadeia de profissionais, envolvendo desde o setor de suprimentos, que irá adquirir o material adequado, até a mão de obra do canteiro que aplicará os recursos da forma correta, além dos gestores e dos clientes que poderão acompanhar de forma mais fidedigna o produto.

A boa gestão do cronograma de obras tem influência direta no desempenho da obra, a partir do rastreamento das atividades e da sua qualidade executiva, bem como a produtividade dos profissionais, prevendo riscos e inconformidades, de forma que quanto mais cedo o gestor puder intervir, menor será o impacto da mudança. [4]

A associação do modelo tridimensional ao tempo resulta na quarta dimensão do BIM, a qual transcreve as tarefas do cronograma para uma maquete virtual construída ao longo de uma escala temporal, propiciando o aumento do grau de assertividade do cronograma e o maior nível de controle, uma vez que cada atividade atribuída ao planejamento é identificada a partir de um único click. Assim, a simulação da seqüência das atividades em tempo real assegura discussões entre o planejador, a equipe da obra e o cliente, facilitando o entendimento visual e a comunicação. [7]

Portanto, a aplicação da metodologia BIM vai muito além da integração das diversas disciplinas e suas análises de incompatibilidades (*clash detection*), ela propicia sobretudo a integração e comunicação da equipe, seja da sala técnica ou do canteiro de obras, nivelando o conhecimento sobre o projeto em questão.

Diante disso, o presente artigo tem como objetivo visualizar e discutir a associação do cronograma ao modelo virtual 3D, a partir de um estudo de caso de uma edificação unifamiliar de alto padrão, analisando os benefícios e dificuldades envolvidas no processo da construção 4D.

## 2. Referencial teórico

### 2.1. BIM

A modelagem de informação da construção, também conhecida como BIM, consiste num tema que gera muitas discussões na literatura, tendo em vista que cada autor define da sua maneira. Contudo, [6] a descreve como “uma tecnologia de modelagem e um grupo associado de processos para produção, comunicação e análise do modelo de construção”. Isto é, não se trata de um produto definido, mas de uma metodologia construtiva, envolvendo tecnologias, processos e principalmente a comunicação e integração entre todos os participantes da AEC (arquitetura, engenharia e construção), de forma a convergir os esforços em um modelo central interoperável.

### 2.2. Planejamento 4D

A dimensão 4D advém da vinculação entre o modelo 3D e o planejamento da obra, permitindo a evolução da obra virtualmente a partir da simulação das datas do cronograma.

Segundo [5] o modelo 4D é o resultado da junção entre a representação gráfica 3D e o tempo, resultando em um produto quadrimensional, isto é, um conjunto de elementos gráficos incorporados aos dados do cronograma. Dessa forma, os aspectos temporais e físicos do projeto estão interligados de forma similar a execução no plano real.

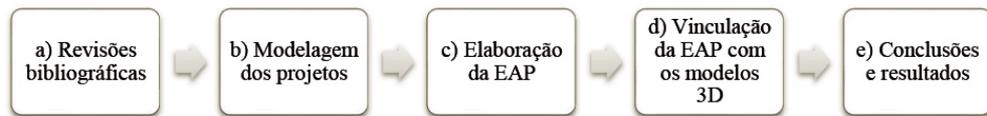
## 3. Métodos

Os objetivos da pesquisa são descritivos e explicativos, a fim de analisar o planejamento 4D, resultante da associação entre o cronograma tradicional e o modelo federado BIM multidisciplinar, avaliando os benefícios e os malefícios da sua aplicação num projeto de uma residência unifamiliar construída no município do Eusébio, localizado no estado do Ceará.

O método adotado foi o estudo de caso, dispondo-se dos projetos de arquitetura, estrutura, instalações elétricas e hidrossanitárias; criou-se o modelo virtual multidisciplinar a partir do *software* Revit e, em conjunto, fez-se a Estrutura Analítica do Projeto (EAP) por meio do MS Project. Posteriormente, vinculou-se o modelo virtual ao cronograma com auxílio do Navisworks, obtendo-se o planejamento 4D, objeto de estudo desse artigo.

O fluxograma apresentado resume a estrutura geral da pesquisa, elencando as etapas adotadas:

**Figura 1**  
Fluxograma da pesquisa.



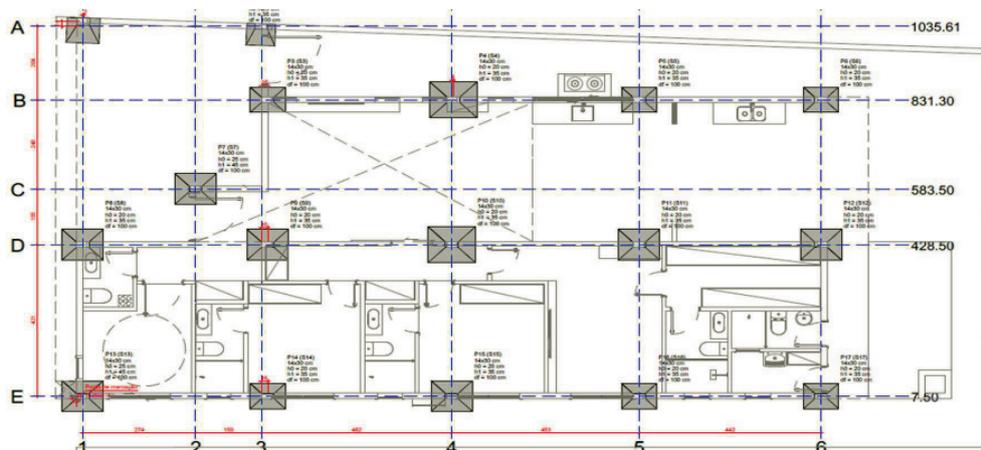
O projeto adotado consiste numa residência térrea unifamiliar com área de 177 metros quadrados, idealizada pela arquiteta Marina Fortes, composta por três suítes, lavabo, gabinete, sala com pé direito duplo, cozinha, deck gourmet, área de serviço, garagem e área de lazer com piscina e banheiro, de acordo com o ilustrado na Figura 2.

**Figura 2**  
Planta baixa humanizada residência unifamiliar (sem escala).



Os projetos de instalações elétricas e hidrossanitárias foram desenvolvidos pela empresa UBX Engenharia, evidenciando o encaminhamento das infra e tubulações necessárias para atender à necessidade da edificação.

Os projetos estruturais foram concebidos pela empresa Pilotis Engenharia e adotam 17 sapatas como solução das fundações, variando em 6 diferentes tipos com dimensões de até 100 x 115 centímetros, 18 pilares com dimensões de 14 x 30 centímetros, 23 vigas com dimensões de até 50 x 14 centímetros e lajes volterranas com EPS, como ilustrado na Figura 3.



**Figura 3**  
Planta baixa projeto  
estrutural (sem escala).

Na etapa de modelagem, é importante se atentar ao nível de detalhe (LOD) a ser adotado de acordo com o usos BIM. Tratando-se de uma aplicação voltada ao planejamento 4D, sugere-se que a construção virtual seja realizada de acordo com os métodos executivos da obra, por exemplo, especificar as camadas que compõem as paredes, seja pelo método por camadas ou parede composta, enriquece o modelo, tendo em vista que cada camada desse elemento será ilustrada independentemente no modelo central, convergindo com as etapas construtivas no canteiro de obras que seguem o fluxo: alvenaria, chapisco, reboco e emboço. Ressalta-se que a aplicação de diferentes cores para cada elemento, torna ainda mais fácil o rastreamento das atividades conforme o seu prazo.

Em paralelo ao processo de modelagem, foi desenvolvida a EAP, definindo-se as tarefas envolvidas no escopo, suas respectivas durações, o sequenciamento delas por meio da adoção de predecessoras, a alocação de recursos de mão de obra, dessa forma, resultando no planejamento geral.

### 3. Resultados

A adoção da metodologia BIM, a partir de um modelo virtual interdisciplinar multidimensional, contribui para a prática da melhoria contínua dentro do processo da construção civil, tendo em vista que a sua aplicação, quando controlada ao mesmo passo do avanço da execução, permite a atualização em tempo real, rastreando cada elemento que foi alterado durante o andamento da obra e retornando o quantitativo correspondente a essa alteração, permitindo a tomada de decisão de forma assertiva, bem como o compartilhamento da informação.

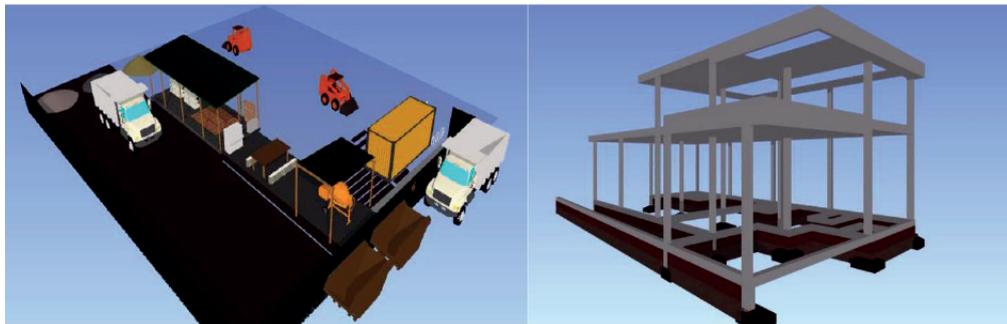
A definição das tarefas que compõem a EAP deve ser condizente com os elementos modelados virtualmente, de forma a garantir que irá existir o *link* entre ambas as partes e que não haverá atividades flutuantes, gerando o que se conhece por “rabos de serviço”, isto é, atividades que geram custo à obra, mas não são identificadas no planejamento e, portanto, não são gerenciadas; por exemplo, um contramarco em alumínio que não foi previsto na modelagem, nem incluso nas atividades do

Project, mas precisa ser adquirido e instalado na fase de acabamentos argamassados (chapisco, reboco), gerando custo de material e mão de obra a ser repassado para o investidor.

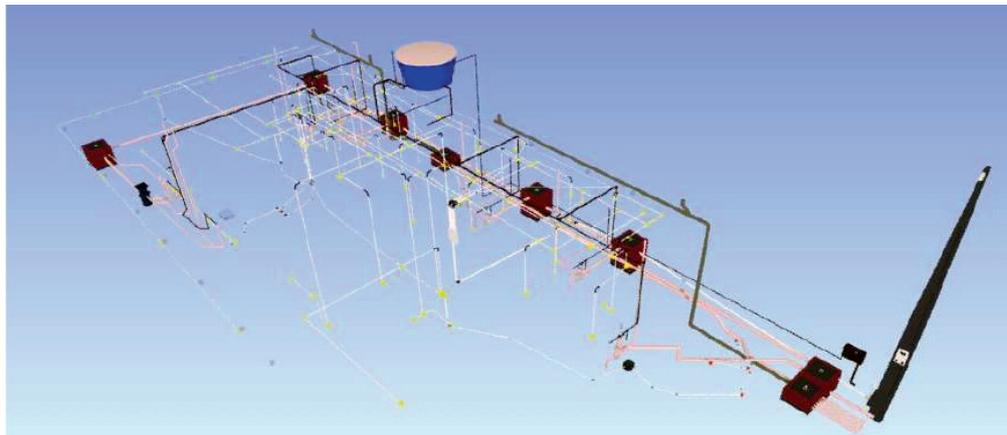
Partindo dos projetos pré-concebidos de arquitetura, estrutura, instalações elétricas, hidráulicas e sanitárias, desenvolveu-se um modelo para cada disciplina construído virtualmente com auxílio do Revit, que posteriormente foram exportados para o Navisworks.

Outrossim, em virtude do pequeno tamanho do canteiro, houve uma expressiva restrição no recebimento e armazenamento de materiais, exigindo um maior controle do espaço. Portanto, fez-se uso da modelagem a fim de garantir uma melhor análise estratégica da disposição dos materiais e dos equipamentos, garantindo o melhor posicionamento dos postos de armazenagem e convivência da equipe. Algumas das modelagens podem ser analisadas nas Figuras 4 e 5.

**Figura 4**  
Modelagem do canteiro de obras e da estrutura.



**Figura 5**  
Modelagem das instalações elétricas e hidrossanitárias.



Após a modelagem, o próximo passo foi garantir a atribuição dos ciclos e das datas de início e fim, bem como as predecessoras que conectam as atividades a partir do MS Project, resultando em um planejamento com 129 tarefas vinculadas ao modelo central, com início previsto para dia 14 de julho de 2022 e término para 31 de outubro de 2022, totalizando 77 dias.

Contudo, houve uma demora significativa na aprovação dos projetos na prefeitura, de forma que a obra recebeu a liberação do alvará apenas no dia 05 de junho de 2023, finalizando no dia 05 de dezembro de 2023, resultando em 132 dias de duração.

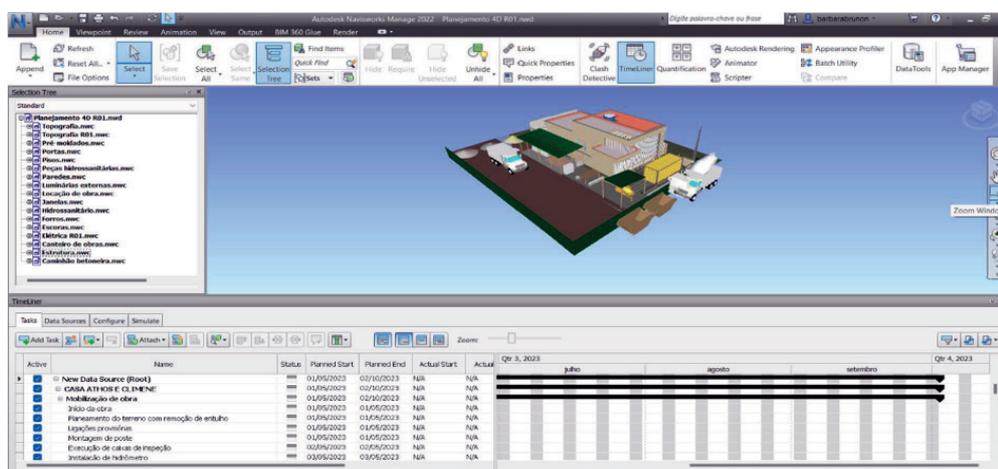
Essa foi uma construção bastante desafiadora, pois foi uma residência financiada diretamente pelos clientes. Portanto, os materiais eram adquiridos principalmente a partir do uso do cartão de crédito pessoal deles, exigindo uma grande precisão na quantificação dos insumos, com objetivo de mitigar desperdícios e retrabalhos, isto é, a solicitação repetida de um mesmo insumo ou a sobra de materiais poderia gerar desconfiância e descrédito dos mesmos.

Outro aspecto desafiador é que os clientes moravam próximo ao canteiro, assim, semanalmente recebíamos visitas e junto a elas haviam muitas modificações, como acréscimo de tomadas, mudança de revestimentos, inclusão de armadores de rede, modificação do tamanho dos cômodos e até mesmo inclusão de um deck e piscina com cascata nos fundos.

Logo, esse foi um projeto pensado por várias pessoas e atualizado em tempo real, tendo como principal objetivo garantir que a casa sairia de acordo com os desejos dos proprietários, contanto que as modificações fossem viáveis.

Dessa forma, deter dos modelos virtuais foi de suma importância porque tornou todas as sugestões de mudança mais visuais, esclarecendo dúvidas e garantindo as aprovações antes da sua execução, além de permitir o levantamento dos custos, atualizando o orçamento em tempo real. Por sua vez, o planejamento 4D também era atualizado ao passo em que as modificações eram aprovadas, uma vez que os novos elementos e atividades eram prontamente vinculados ao cronograma, simulando a construção e refletindo nos novos prazos.

A Figura 6 ilustra a interface do Navisworks, ferramenta utilizada para viabilizar essa vinculação. Nota-se a sobreposição dos elementos, entretanto, ao iniciar a simulação isso é corrigido, já que eles aparecem seguindo a ordem da execução real.



**Figura 6**  
Planejamento 4D no Navisworks.

Ainda conforme a Figura 6, cabe ao planejador criar a quantidade de vistas necessárias, exportando-as para o Navisworks. Nesse caso, identifica-se que houve a segregação do modelo em 17 vistas diferentes, que foram executadas a fim de compatibilizar e facilitar no momento da vinculação das respectivas tarefas do cronograma, indicadas na área inferior, otimizando o trabalho do profissional.

A partir desse programa, torna-se possível adotar a data de início e de término real ou planejado disponível no Project, que uma vez vinculado ao Navisworks é atualizado automaticamente, tornando-se um recurso interessante de acompanhar a obra a partir da atribuição das datas reais do campo, comparando-se com a linha de base do planejamento, logo, permitindo o rastreamento das atividades que não seguiram o escopo previsto e cobrando dos gestores a tomada de decisões adequadas para mitigar o impacto dos atrasos, assim como é possível visualizar na Figura 7, 8 e 9 que comparam a execução do canteiro de obras com o previsto no planejamento 4D.

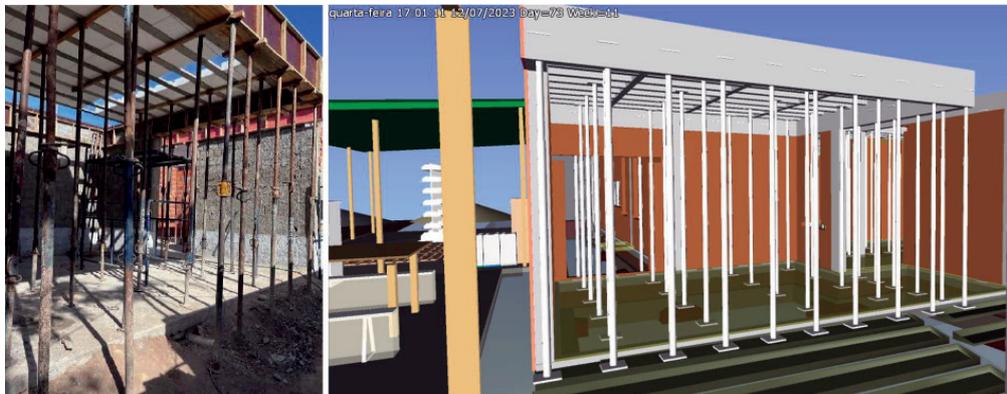
**Figura 7**

Canteiro de obras x planejamento 4D dia 05 de julho de 2023.



**Figura 8**

Canteiro de obras x planejamento 4D dia 12 de julho de 2023.



**Figura 9**

Canteiro de obras x planejamento 4D dia 01 de setembro de 2023.



Dentre as dificuldades encontradas no cumprimento do cronograma, a etapa de instalação do porcelanato de piso é um exemplo de atividade que acarretou atraso, pois os clientes não conseguiram comprá-lo em tempo hábil e ele passou a ficar indisponível na fábrica. Desta forma, tornou-se necessário adquirir esse insumo numa loja por um preço significativamente maior e com outra especificação de acabamento, passando de polido para acetinado em alguns cômodos pela carência do item no mercado.

Tal decisão implicou no aumento do orçamento e também na mudança do sequenciamento das atividades bloco de gesso e revestimento de piso, uma vez que anteriormente seria apenas um piso para todas as áreas secas com as paredes instaladas acima do porcelanato, facilitando futuras reformas. Entretanto, com a inviabilidade de manter o mesmo padrão e para não gerar maiores impactos no cronograma, executou-se primeiro os blocos de gesso e depois os diferentes porcelanatos.

Vale ressaltar que as escoras foram modeladas como forma de evidenciar os itens no canteiro e seus impactos no sequenciamento das atividades, como as instalações. Além de permitir sua quantificação e rastreabilidade. Ademais, possibilitou a validação com o engenheiro calculista, reduzindo suas visitas na obra e tornando o feedback mais ágil, garantindo a confirmação da sequência de remoção dos elementos e facilitando a conferência por parte dos gestores.

A Figura 10 ilustra o comparativo entre o resultado da execução da residência que foi gerenciada por meio das ferramentas BIM e o modelo arquitetônico utilizado como base no planejamento, renderizado no *software* Enscape.



**Figura 10**  
Residência unifamiliar  
plano real x plano  
virtual.

elagem dos projetos e a elaboração do cronograma requerem uma equipe com vasto conhecimento dos processos construtivos e das ferramentas BIM, pois para alcançar um planejamento 4D implementável para a obra é de suma importância que a construção virtual contenha os elementos que serão executados no passo a passo do produto, quanto maior o nível de detalhe, mais fidedigno ao canteiro estará; permitindo que, conforme a obra for avançando, os respectivos serviços serão medidos corretamente no planejamento.

Portanto, muitas vezes se torna inviável a implementação do BIM apenas na etapa de planejamento, exigindo que a metodologia seja aplicada desde a concepção dos

projetos, uma vez que a equipe envolvida precisa ter um intervalo de tempo generoso para garantir a modelagem de todos os documentos enviados, assim como a elaboração da EAP de forma detalhada, alocando cada profissional envolvido. Ademais, esse processo requer um alto nível de treinamento e colaboração entre os profissionais envolvidos, que precisam deter dos conhecimentos necessários para garantir que o planejamento 4D estará compatível com a execução. Deve-se lembrar também que as licenças dos programas BIM possuem um custo elevado e solicitam um investimento não apenas nos softwares, mas também nos computadores utilizados.

#### 4. Conclusão

Diante do exposto e conforme o ciclo PDCA, não é suficiente delinear previamente a metodologia, os prazos e os recursos requeridos de uma obra, sem que haja o monitoramento das atividades e a comparação dos resultados reais com aqueles almejados. Portanto, cabe ao setor de planejamento gerir em tempo real a execução e traçar as estratégias para contornar os percalços identificados durante todo o empreendimento, sendo um trabalho dinâmico e de alto grau de responsabilidade.

Nesse contexto, a metodologia BIM se torna uma viabilizadora dessa prática, uma vez que ela traz clarividência à equipe envolvida na obra, a partir de um modelo virtual unificado e compatibilizado, que somado ao planejamento permite a vinculação de cada elemento modelado à sua respectiva tarefa do cronograma, garantindo a medição adequada e o maior rastreamento das atividades, gerando o que se conhece na literatura como planejamento 4D.

A adoção do planejamento 4D gera um produto virtual navegável e de fácil interpretação, promovendo a maior integração da equipe, a partir do nivelamento do conhecimento dos projetos e do cronograma, propiciando um maior controle do processo por meio da análise e a previsão de problemas, permitindo a tomada de decisão assertiva e, conseqüentemente, mitigando os impactos no custo, no prazo e na qualidade da obra.

No projeto residencial unifamiliar estudado nesse artigo se notou a elevação do nível de controle durante a execução obra, uma vez que a partir da adoção dessa metodologia, substituiu-se os projetos em 2D disponíveis em PDF ou autoCad e o cronograma da obra, anteriormente apresentado como uma EAP no Project; por um modelo virtual rico em detalhes que permitiu a identificação minuciosa do encaminhamento das tubulação de água, esgoto, escoamento pluvial e até da drenagem das máquinas de ar condicionado; além da estrutura, da arquitetura, do canteiro de obras e das instalações elétricas, tornando possível o rastreamento da execução de cada atividade e, inclusive, quantificando seus elementos, gerando assertividade na compra dos materiais e maior produtividade à equipe.

Além disso, notou-se uma maior participação dos clientes no processo da obra, a partir da facilitação da compreensão dos projetos e da ordem de execução das tarefas,

pré-visualizadas por meio da simulação em tempo real permitida pelo Navisworks, notando-se maior satisfação.

Todavia, é importante ressaltar que a implementação do BIM no setor de planejamento requer um elevado investimento financeiro, em virtude dos altos preços das licenças dos softwares, bem como das máquinas que irão processar os dados, necessitando de máquinas de alto desempenho. Além disso, sua implantação exige tempo e envolvimento de uma equipe capacitada e hábil para modelar os projetos de forma correta, detendo do conhecimento construtivo do campo a fim de tornar o modelo fidedigno ao canteiro de obras.

Outrossim, o treinamento da equipe do canteiro é essencial para a correta interpretação e disseminação das informações atribuídas ao modelo, necessitando de um equipamento para acessar aos documentos virtuais e saber como navegá-los é de suma importância.

Sugere-se para novos trabalhos a implementação do orçamento 5D com auxílio do planejamento 4D, tornando-se possível prever as equipes, as ferramentas e os materiais necessários para garantir a execução da obra com menor risco, partindo de um modelo multidimensional que propicia a visualização das atividades e, conseqüentemente, reduz a chance de esquecimento de algum item na planilha orçamentária.

## Referências

- [1] D.-M. Brito, E.-A.-M Ferreira, "Avaliação de estratégias para representação e análise do planejamento e controle de obras utilizando modelos BIM 4D". Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (2015), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, pp. 203-223. doi: 10.1590/s1678-86212015000400047.
- [2] A.-F.-E. Lucena, D.-G. Soares, "Grau de maturidade do uso do bim 4D e bim 5D em empresas construtoras". Revista de Engenharia e Tecnologia (2023), Ponta Grossa, Paraná, Brasil, v. 15, n. 1 pp. 1-10. ISSN: 2176-7270.
- [3] Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), "Guia 6 - A Implantação de Processos BIM". Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC (2017), Brasília, Distrito Federal, Brasil, V. 6, pp. 22. ISBN: 978-85-61323-48-6
- [4] A. D. Mattos, Planejamento e controle de obras. São Paulo.: Pini LTDA, 2010.
- [5] K. Bonsang, F. Martin, Feasibility study of 4D CAD in commercial construction. Stanford: center of integrated facility engineering, 1998. Technical Report n. 118.
- [6] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Hoboken, NJ.: Wiley, 2008.

- [7] J. F. Costa, "A Utilização do Bim 4D para o Processo de Planejamento e Controle de Obras: Uma Revisão Sistemática da Literatura Entre os Anos de 2018 e 2023," Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências de Balsas, Balsas, Brasil, 2023.

# A aplicabilidade da Gestão Ágil e do BIM em projetos de descaracterização de barragens de rejeito

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.44>

**Thiago Almeida<sup>1</sup>, João Andrade<sup>1</sup>,  
Pedro Lima<sup>1</sup>, Eduardo Mello<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> TPF Engenharia, Recife, Brasil

## Resumo

Projetar a descaracterização de uma barragem construída na década de 1970 foi, sem dúvida, uma tarefa bastante desafiadora, dada a incerteza associada à sua construção e às restrições da estrutura. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi demonstrar a aplicabilidade de determinados métodos e ferramentas no projeto de descaracterização de uma barragem de rejeitos, sob as condições supracitadas, no Brasil. Para isso, foram integrados tanto a Metodologia Ágil quanto o BIM (*Building Information Modeling*) ao longo do processo. Na fase de modelagem, utilizou-se o AutoCAD Civil 3D, que conta com funcionalidades bastante úteis relacionadas ao BIM, tais como: Modelagem Tridimensional de Infraestruturas, Inteligência de Dados, Documentação Automatizada e Coordenação Multidisciplinar. Enquanto no planejamento e acompanhamento, empregou-se o Framework de Engenharia Ágil (FEA) da TPF, uma adaptação dos princípios e recursos de gestão ágil, incluindo o método Scrum, com o auxílio do Microsoft Azure DevOps. Este artigo evidencia a eficácia de tais ferramentas e metodologias em um projeto dessa proporção.

## 1. Introdução

Em 2021, a TPF Engenharia foi contratada para elaborar os estudos de alternativas, projeto conceitual e projeto básico para descaracterização de uma barragem de rejeito construída na década de 70, localizada no estado de Minas Gerais e que atualmente está desativada. A escolha pela descaracterização da estrutura – processo onde ela é reincorporada ao relevo e ao meio ambiente – veio em resposta ao cenário de incerteza sobre o método construtivo inicial da barragem, fator que cobrou da equipe projetista a capacidade de resposta rápida frente às possíveis mudanças e restrições. A descaracterização de uma barragem é um processo bastante complexo, que deve ser feito ao longo do tempo, com pesquisas, planos e escopos bem definidos para garantir a segurança [1].

Na primeira etapa, os estudos geotécnicos, hidrológicos, hidráulicos, estruturais e ambientais resultaram no desenvolvimento de alternativas para descaracterização. A escolha foi feita a partir de uma análise criteriosa, baseada em aspectos ambientais, estruturais, hidrológicos, hidráulicos, operacionais e socioeconômicos, e associada a uma matriz de vantagens e desvantagens para as opções estudadas. A técnica adotada foi o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), que foi desenvolvido por Saaty [2], que é uma estratégia de tomada de decisão de multicritério que envolve uma estrutura hierárquica para representar o problema de decisão com a atribuição de pesos aos critérios, facilitando a toma de decisões.

Definida a solução mais coesa, deu-se início a etapa de concepção do projeto de descaracterização, seguindo as melhores práticas e normas nacionais e internacionais de engenharia.

- Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB);
- Resoluções da ANM (Agência Nacional de Mineração);
- Diretrizes do ICOLD (Comitê Internacional de Grandes Barragens);
- Princípios da OCDE sobre Governança de Risco de Infraestrutura Crítica.

Um destaque nesse sentido é a aplicação de metodologia BIM (*Building Information Modeling*) para modelagem e compatibilização dos projetos. No que diz respeito às características e atributos físicos da estrutura, a barragem é do tipo homogênea e tem a função de contenção de rejeitos. Atualmente está desativada e contém um volume de 1.038.010 m<sup>3</sup> de rejeito em seu reservatório. O comprimento da crista é de 279,9 m e uma altura máxima de 41,5 m.

## 2. Aplicabilidade da modelagem tridimensional

O AutoCAD Civil 3D é um instrumento amplamente utilizado nas diversas áreas da engenharia civil como por exemplo: projetos geométricos de rodovias, terraplenagem, drenagem e mineração. Esse *software* é completo para projetos de descaracterização de barragens de rejeito, pois inclui diversas ferramentas para as diferentes etapas do processo. No planejamento, por exemplo, é possível criar modelos

tridimensionais e simular diferentes cenários, graças a análise de topografia, geotecnia e avaliação do impacto ambiental. O *software* de modelagem 3D tem a capacidade de facilitar o georreferenciamento do projeto, reduzir retrabalhos através do uso de objetos paramétricos, e permitir a análise de viabilidade de soluções de projeto. Além disso, a ferramenta apoia a colaboração entre projetistas e possibilita a retirada automatizada de dados de projetos, melhorando significativamente o fluxo de trabalho e a eficiência de projeto [3]. A seguir serão apresentadas algumas aplicações desse programa e sua relação com a metodologia BIM.

## 2.1. Terraplenagem

Em projetos de terraplenagem o *software* possibilita projetar a remoção de maciços e rejeitos de barragens, bem como para realizar cálculos precisos de volume e definir as áreas de disposição final do material removido [4]. A "Ferramenta de Modelagem de Superfície" é uma das mais utilizadas nesta etapa, pois permite criar um modelo tridimensional do terreno, incluindo a barragem e seus arredores. Isso, torna possível visualizar as áreas de remoção e de disposição final, além de simular possibilidades diversas a fim de determinar a melhor solução para o projeto. Além disso, é possível calcular a quantidade de material a ser removido e depositado nas áreas de disposição final, obtendo informações precisas sobre o volume a ser movimentado e os recursos necessários para a execução do projeto

## 2.2. Drenagem

O *software* de modelagem 3D utilizado oferece ferramentas para projetar a drenagem superficial por canais e canaletas, garantindo o escoamento adequado da água e a minimização dos impactos ambientais. Dentre várias funções, destaca-se a "*Water Drop Analysis*", que apresenta a direção do escoamento em um ponto selecionado do terreno, o que auxilia na identificação de talvegues e delimitação de bacias hidrográficas. Desse modo, é possível definir as dimensões adequadas para as estruturas, garantindo que o sistema seja capaz de suportar as vazões máximas esperadas de acordo com as visualizações dos perfis hidráulicos, conferindo segurança e estabilidade para a drenagem. Além disso, a ferramenta de modelagem 3D é compatível com arquivos de outros softwares de Sistema de Informações Geográficas (SIG), ou seja, é possível realizar uma modelagem hidrológica e importá-la para o projeto. A capacidade de se conectar com bancos de dados relacionais e suportar o formato shapefile, comum em softwares GIS, demonstram a eficiência da ferramenta em gestão e integração de dados geoespaciais [5].

## 2.3. Recuperação ambiental

Há também possibilidade de realizar o planejamento da recuperação ambiental, pois o *software* de modelagem 3D oferece ferramentas para projetar as áreas de revegetação e definir as espécies vegetais a serem utilizadas. O Civil 3D emerge como uma ferramenta essencial para a precisão na estimativa de volumes de terraplenagem em

projetos de reabilitação ecológica. Esta capacidade do software de ajustar volumes de terraplenagem com alterações no design do projeto oferece estimativas mais exatas e facilita ajustes em tempo real, contribuindo significativamente para a otimização do design e a economia de custos no investimento do projeto [6].

## 2.4. Locação de instrumentação

O *software* é capaz de auxiliar o trabalho de locação de instrumentação, permitindo definir os pontos de monitoramento com coordenadas e elevações precisas. Calderón Vela [7] destaca a sua aplicabilidade na instrumentação e acompanhamento de dados, especialmente na determinação do volume de materiais movidos, permitindo o monitoramento e acompanhamento de acordo com o que foi previamente estabelecido. Além disso, o modelo 3D desenvolvido permite projetar estruturas de suporte dos instrumentos e analisar dados em tempo real, facilitando na tomada de decisões.

## 2.5. Relação com o BIM

O programa da AutoDesk possui ferramentas que fornecem benefícios significativos relacionados ao BIM, como observa-se na Tabela 1.

O uso da Modelagem Tridimensional de Infraestruturas no Civil 3D permite o desenvolvimento simultâneo de todos os elementos do projeto, simplificando a compatibilização nas diversas fases do processo. Isso significa que projetos como terraplenagem, acessos operacionais e drenagem superficial podem ser elaborados em paralelo.

Tabela 1: Contribuições do Civil 3D para o BIM.

<b>Benefício</b>	<b>Funcionalidade</b>
Modelagem Tridimensional de Infraestruturas	Criação de estruturas
Inteligência de Dados	Detalhamento de componentes
Documentação Automatizada	Eficiência na criação de documentos
Coordenação Multidisciplinar	Integração com outras ferramentas e coordenação eficaz entre projetos

Durante a execução da modelagem, a presença da Inteligência de Dados no software possibilita a parametrização de todos os elementos tridimensionais. Isso não apenas fornece informações geométricas, mas também permite a inclusão de especificações técnicas essenciais para a execução do projeto.

Além disso, o BIM viabiliza a criação de modelos ou "templates" automatizados, que padronizam todos os entregáveis do projeto. Esses arquivos aumentam a eficiência ao integrar as diversas tabelas de quantitativos entre os documentos, promovendo consistência.

O ambiente BIM favorece a abordagem multidisciplinar do projeto, não limitando o uso a um único software. Análises e estudos realizados em outras plataformas

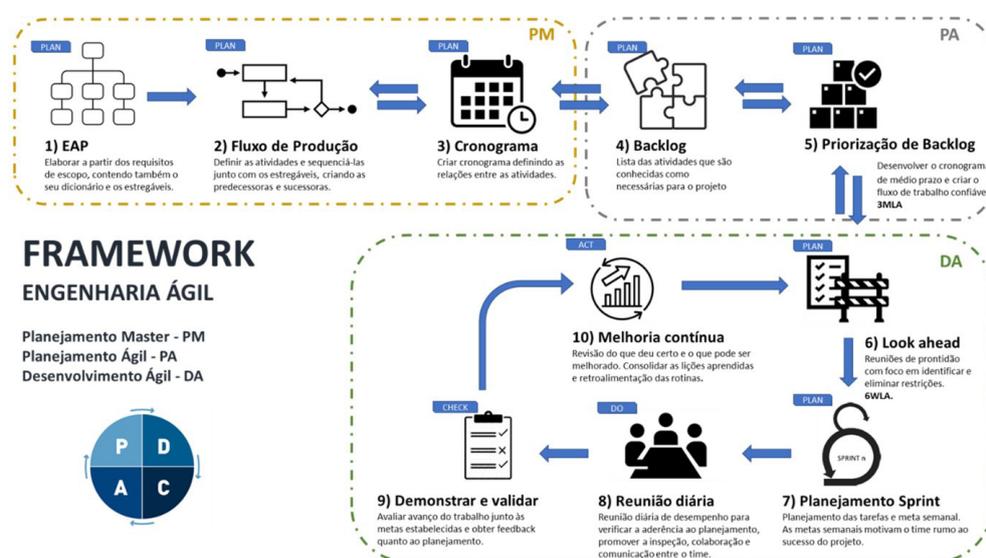
podem ser incorporados ao modelo, elevando o grau de complexidade do projeto. Exemplos incluem resultados de modelagens hidrológicas, dimensionamentos hidráulicos, análises de estabilidade e até mesmo a implementação de sistemas de monitoramento em tempo real.

Apesar das vantagens da aplicação do BIM, há alguns desafios durante a sua implantação, como: aquisição de licenças de *softwares* específicos, dependência de computadores com maior poder de processamento, investimento em redes de compartilhamento de arquivos e acesso constante à internet.

### 3. Aplicabilidade da Metodologia Ágil

O Framework de Engenharia Ágil (FEA) é a aplicação da abordagem que visa facilitar o desenvolvimento de projetos de maneira adaptativa e interativa [8]. Ao longo de todo o projeto de descaracterização da barragem implementou-se e utilizou-se o FEA da TPF. Esse framework é uma adaptação das ferramentas e princípios de gestão ágil, entre eles o método Scrum – framework iterativo e incremental [9]. Na aplicação do FEA foram utilizados todos os eventos descritos, atendendo as demandas contratuais em janelas de tempo estabelecidas de acordo com as necessidades e agenda das partes interessadas. Desse modo, percebeu-se que a utilização dessa metodologia própria promoveu um aumento da produtividade, integração da equipe e ganho de qualidade das entregas, prevenindo qualquer tipo de falha de comunicação ou conhecimento do processo. Um dos principais benefícios foi a identificação antecipada das restrições do projeto, permitindo elaborar ações para eliminá-las sem comprometer o cronograma.

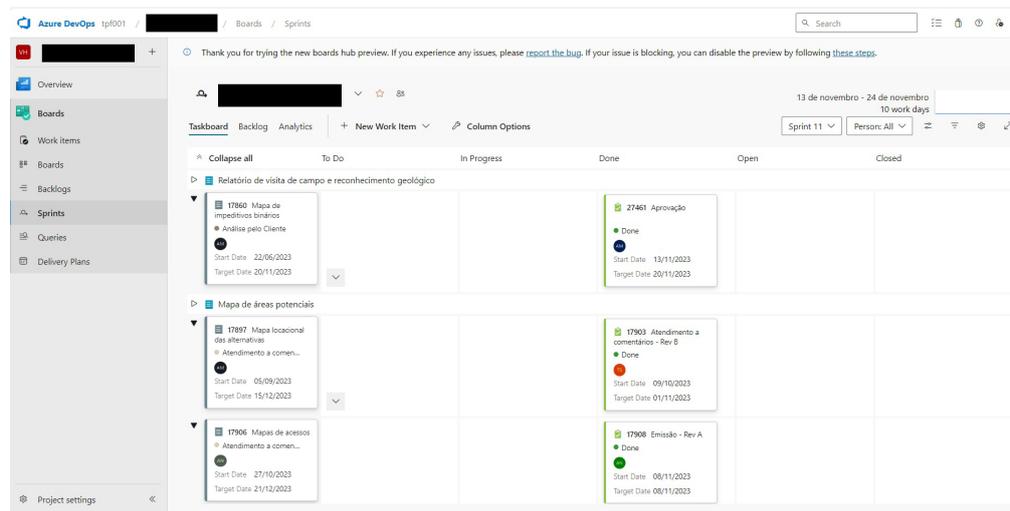
A Figura 1 apresenta o fluxograma do FEA e define alguns termos tais como: *Backlog*, que é a lista das atividades conhecidas necessárias para a conclusão do projeto, *Sprint*, que é o planejamento das atividades e metas para um determinado período de tempo e *look ahead* que são reuniões com o objetivo de identificar e eliminar restrições.



**Figura 1**  
Apresentação esquemática do FEA da TPF.

A aplicação prática do FEA foi realizada com o auxílio do Microsoft Azure DevOps, Figura 2. Essa ferramenta foi compatibilizada com a metodologia do framework, na qual foram cadastradas as etapas do projeto, marcos contratuais, os produtos a serem entregues e as tarefas e impedimentos correspondentes de cada produto. Portanto, foi promovida a integração da equipe em busca dos objetivos traçados ao longo do trabalho.

**Figura 2**  
Prática do FEA na plataforma de gestão ágil.

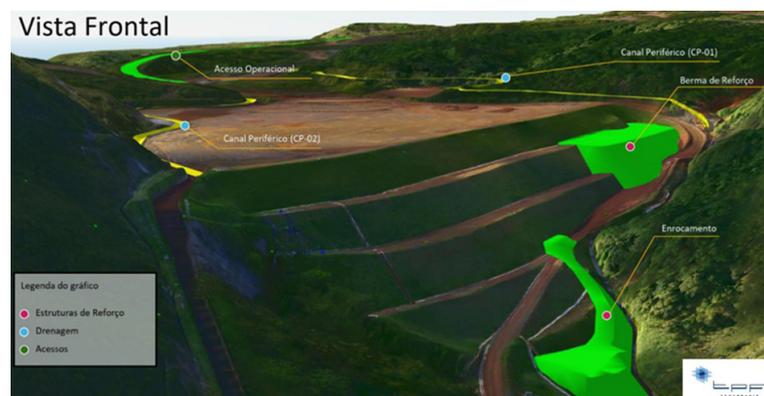


#### 4. Aplicação no estudo de caso

A incorporação da interface BIM no Civil 3D possibilitou a execução simultânea de múltiplos projetos. Com base no modelo digital de terreno e na integração de estudos preliminares abrangentes, conseguimos modelar as estruturas da fase inicial da descaracterização. As análises de estabilidade desempenharam um papel crucial ao identificar os locais que necessitavam de estruturas de reforço.

Paralelamente, as modelagens hidrológicas e hidráulicas foram empregadas na concepção das estruturas de drenagem. Além disso, a análise logística e operacional teve um papel vital ao possibilitar a localização e modelagem dos Acessos Operacionais essenciais para as fases iniciais do projeto, conforme exemplificado na Figura 3.

**Figura 3**  
Fase inicial da descaracterização.



A Fase Intermediária deste projeto envolveu o planejamento de terraplenagem, incluindo a remoção do rejeito e do maciço por níveis, conforme mostrado na Figura 4. A capacidade do software permite a elaboração de seções que possibilitam a análise de estabilidade, garantindo a segurança da escavação. As novas superfícies do terreno também possibilitaram o desenvolvimento de elementos de drenagem provisórios, como o Extravasor Provisório.



**Figura 4**  
Fase intermediária da descaracterização.

A Fase Final do projeto de descaracterização consistiu na elaboração do plano de recuperação ambiental e das estruturas de drenagem permanentes. O modelo de terreno desenvolvido ao longo do projeto foi essencial para prever a modelagem dos canais de drenagem. No contexto do projeto de recuperação ambiental, dados de inclinação do terreno foram utilizados para determinar a melhor alternativa para cada trecho, conforme apresentado na Figura 5.



**Figura 5**  
Fase final da descaracterização.

## 5. Conclusão

O estudo de caso apresentado demonstra a aplicabilidade eficaz das metodologias BIM e ágil no projeto de descaracterização de uma barragem de rejeitos datada da década de 1970. A adoção do AutoCAD Civil 3D, um software BIM de destaque, possibilitou a modelagem tridimensional do projeto, a compatibilização entre os diferentes elementos e a integração com outras ferramentas e plataformas. Isso contribuiu para a melhoria da eficiência do projeto, a redução de custos e a melhoria da qualidade das entregas. A implementação da metodologia ágil, fundamentada no framework FEA da TPF, promoveu a integração da equipe, o aumento da produtividade e a identificação antecipada de restrições. Isso contribuiu para o cumprimento do cronograma e do orçamento do projeto. Os resultados obtidos sugerem que a integração das metodologias BIM e ágil representa uma estratégia eficaz para o desenvolvimento de projetos de descaracterização de barragens de rejeitos, especialmente em projetos complexos e com incertezas.

## Referências

- [1] GEOSCAN. Descaracterização de barragens: Saiba mais sobre!. Geoscan. 28 jul. 2021. Disponível em: <https://www.geoscan.com.br/blog/descaracterizacao-de-barragens/>. Acesso em: 27 dez. 2023.
- [2] T. L. Saaty, "Decision making with dependence and feedback: The analytic network process", Vol. 4922. No. 2. Pittsburgh, RWS publications, 1980.
- [3] A. Heleno, M. Azenha, L. Caldeira, M. Silva, "Aplicação da metodologia BIM na monitorização da segurança de barragens de aterro", *4.º Congresso Português de Building Information Modelling vol. 1 – ptBIM*, pp. 447-457, 2022.
- [4] A. Barros, "Uso do Civil 3D e dados SRTM para análise ambientais e tomadas de decisões em um trecho do CAC - Cinturão de Águas do Ceará", *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, vol. 18, n.º 2, pp. 1-12, dez. 2022.
- [5] V. Sokoła-Szewioka, M. Poniewiera, "Selected Possibilities of the GIS Data Import in Programs AutoCAD Civil 3D and Geolisp". *Geoinformatica Polonica*, S.l., v. 16, 2017.
- [6] Y. Fan, J. Pang, F. Xiao. "Application of AutoCAD Civil3D in Quantity Estimation of an Abandoned Mine Rehabilitation Project[J]". *Soil Engineering and Foundation*, 35(3): 260-262, 2021.
- [7] G. P.A. Calderón Vela, W.A. Zaquinaula Bances, "Aplicación del software AutoCad Civil 3D en el seguimiento de volúmenes para el control de avance en la unidad Minera Pallasca". 2021.

- [8] Melonio, B., & Viana, R., “Framework Ágil como Modelo de Gestão de Projetos Inovadores: Análise e Ilustração” Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil, 2019.
- [9] A. Marçal, M. Furtado, “Scrummi: Um processo de gestão ágil baseado no Scrum e aderente ao CMMI”, *IX Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software*, pp. 425-439, jun. 2010.



# Gerenciamento e planejamento de projetos de infraestrutura rodoviária em BIM com o foco na gestão de produção e integração de ativos

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.45>

**José Vinícius Silva Martins<sup>1</sup>,  
Paulo Santos<sup>2</sup>, Matheus Barros<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Universitat de Barcelona, Barcelona, Espanha, ID ORCID 0000-0002-4158-2639*

<sup>2</sup> *Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, ID ORCID 0000-0002-9801-1423*

<sup>3</sup> *Universidade de Brasília, Brasília, Brasil ID ORCID 0000-0001-7422-8575*

## Resumo

O setor de infraestrutura de transportes no Brasil desempenha um papel de suma importância para o desenvolvimento socio-econômico. O país possui uma ampla rede de rodovias, que permitem a integração nacional. A interoperabilidade entre softwares de infraestrutura com a adoção do *Building Information Modeling* (BIM), ferramentas de planejamento e orçamentação, e *Geographic Information Systems* (GIS) é fundamental para alcançar uma abordagem holística e eficiente na gestão de projetos rodoviários. Assim, este trabalho aborda o gerenciamento e planejamento de projetos de infraestrutura rodoviária utilizando o BIM em conjunto com softwares de gestão de produção, embasados na premissa de que a compatibilização e integração de ativos, em um só ambiente, ou modelo, permite a mitigação de riscos e a redução de custos. Dessa forma, objetiva-se analisar os requisitos de ativos (IAM) e examinar o nível atual de maturidade dos softwares Autodesk Navisworks, Trimble Tilos, Trimble Vico Office e AltoQI Visus, nas dimensões de tempo e custo, além de destacar obstáculos e mitigar riscos de perda de informações. Um estudo de caso de um viaduto e seus acessos é apresentado como aplicação prática, demonstrando uma integração bem-sucedida de softwares BIM e de gestão de produção, resultando em economia de tempo e recursos.

## 1. Introdução

A infraestrutura de transportes no Brasil se configura como elemento primordial para o fomento do desenvolvimento socio-econômico, caracterizando-se por uma extensa malha rodoviária que propicia a integração nacional. Em face deste cenário estratégico, a aplicação de tecnologias avançadas na gestão de ativos é um agente propulsor para a maior eficácia no planejamento, otimização operacional, implementação de manutenção preventiva e facilitação do processo decisório [1]–[4]. No epicentro destes avanços, o *Building Information Modeling* (BIM) figura como uma metodologia inovadora, conferindo expressivos avanços à gestão de projetos de infraestrutura [5]. A interoperabilidade entre softwares especializados em infraestrutura com uso do BIM, ferramentas de planejamento de produção e *Geographic Information Systems* (GIS) se revela fundamental para alcançar uma abordagem integrada e eficiente na condução de projetos dessa magnitude [6], [8].

O presente trabalho propõe uma análise aprofundada no âmbito do gerenciamento e planejamento de projetos rodoviários, destacando a sinergia entre o BIM e os softwares de gestão de produção. A premissa essencial repousa na compatibilização e integração de ativos em um ambiente único, ou modelo, visando a mitigação de riscos e a redução de custos associados ao ciclo de vida [9], [10].

A análise apresentada concentra-se na avaliação dos requisitos de ativos ou *Infrastructure Asset Management* (IAM), contemplando uma análise do nível de maturidade de softwares do mercado, tais como Autodesk Navisworks, Trimble Tilos, Trimble Vico Office e AltoQI Visus, nas dimensões de tempo e custo. Adicionalmente, o artigo identifica potenciais obstáculos e propõe estratégias para a mitigação de riscos associados à perda de informações ao longo do processo. A fim de ilustrar a aplicação prática da abordagem proposta, apresenta-se um estudo de caso referente a um viaduto e seus acessos.

## 2. O contexto do BIM na gestão de projetos rodoviários

### 2.1. BIM: otimização do planejamento e interoperabilidade

A implementação do BIM tem desempenhado um papel crucial na otimização do planejamento de infraestruturas rodoviárias. Estudos indicam que a integração do BIM nesse contexto oferece uma abordagem holística ao ciclo de vida das estradas, permitindo uma gestão mais eficiente e sustentável. De acordo com as pesquisas [11]–[13], a modelagem tridimensional detalhada com adoção do BIM contribui significativamente para a visualização e análise, facilitando a tomada de decisões durante as fases iniciais de planejamento. Além disso, a interoperabilidade aprimorada promove a colaboração entre os diversos interessados, melhorando a coordenação entre disciplinas e resultando em projetos mais integrados [12]. A capacidade de simulação e modelagem paramétrica do BIM também desempenha um papel crucial na identificação precoce de problemas, contribuindo para a redução de custos e a

maximização da durabilidade dos ativos [14], [15], evidenciando a importância positiva do BIM na gestão da infraestrutura rodoviária.

No contexto da interoperabilidade, a aplicação de padrões abertos como o *Industry Foundation Classes* (IFC) é crucial para facilitar a troca de informações entre diferentes softwares de modelagem, otimizando a integração eficiente de dados e processos em projetos complexos de infraestrutura. Neste contexto, [16], [17] destacam a importância de protocolos de comunicação eficazes e da harmonização de ontologias para garantir a consistência semântica na integração de dados provenientes de sistemas BIM, planejamento e GIS. Esse aprimoramento na interoperabilidade, especialmente no planejamento de transporte, permite a modelagem precisa e análise em contexto das infraestruturas, enriquecendo a compreensão espacial, a análise de impacto e a tomada de decisões baseada em informações precisas e atualizadas em projetos complexos de infraestrutura [12].

## 2.2. Projetos rodoviários e base de custos

Segundo o Guia de Análise de Projetos Rodoviários do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) no Brasil [18], as disciplinas que envolvem um projeto rodoviário seguem uma sequência lógica. Na fase inicial de estudos, são realizadas investigações geológico-geotécnicas, levantamentos topográficos e hidrológicos. Estes dados subsidiam a modelagem preliminar de projetos, permitindo a criação de cenários que embasam o desenvolvimento do projeto funcional do empreendimento.

O DNIT mantém a base do Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO), disponibilizando um catálogo de composições específico para a execução de obras de infraestrutura. As composições SICRO apresentam índices de produtividade de mão de obra, que impactam diretamente o planejamento de implantações e intervenções. As dimensões de tempo e custo relacionam-se entre si, portanto, onde a análise crítica e integrada é útil para mitigação de riscos.

## 2.3. Desafios e estratégias na integração de ativos: mitigação de riscos

A integração de ativos em ambientes BIM representa uma abordagem inovadora na gestão de projetos de infraestrutura, proporcionando uma visão integrada e colaborativa do ciclo de vida do empreendimento. Contudo, esse processo não está isento de desafios, sendo crucial identificar obstáculos potenciais para efetiva mitigação de riscos. Dentre os desafios mais pertinentes, destaca-se a heterogeneidade de formatos e padrões de dados, bem como a falta de interoperabilidade entre os softwares BIM disponíveis no mercado [5], [19], [20].

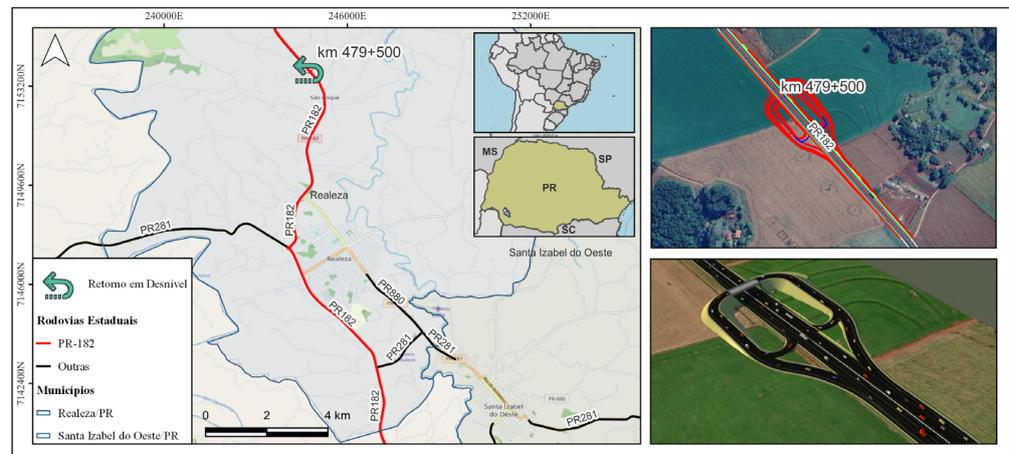
Para superar tais desafios, estratégias devem ser adotadas. A padronização de protocolos e formatos de dados é fundamental, possibilitando uma integração mais fluida entre diferentes ferramentas BIM [5], [21]. Além disso, a implementação de processos

de verificação e validação contínuos durante a integração de ativos pode prevenir a perda de informações críticas, garantindo a confiabilidade dos dados ao longo do ciclo de vida do projeto.

### 3. Metodologia e estudo de caso

Esta pesquisa tem como estudo de caso a implantação hipotética de um retorno em desnível no km 479+500 da rodovia estadual PR-182, próximo ao município de Realeza, Paraná, Brasil. A Figura 1 apresenta o mapa de situação do projeto.

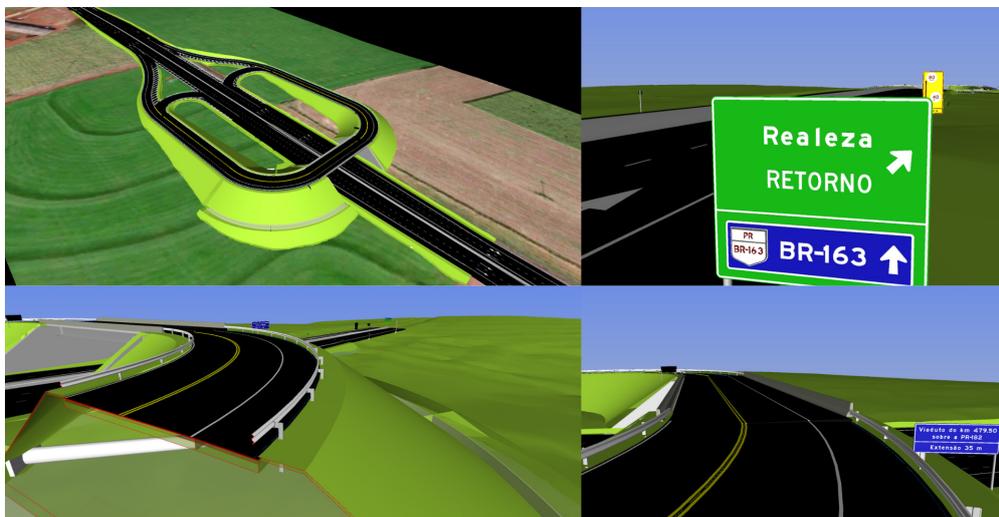
**Figura 1**  
Localização da  
implantação do projeto.



A partir da definição do estudo de caso, a pesquisa foi desenvolvida em três principais etapas: 1) Modelagem do empreendimento com apoio de softwares Autodesk: InfraWorks, Revit, Civil 3D e Navisworks; 2) Gestão de produção com os softwares de planejamento Trimble Tilor, Trimble Vico Office e AltoQi Visus; e 3) Análise dos resultados com simulação construtiva no Autodesk Navisworks e gestão do empreendimento no AltoQi Visus. Cabe destacar que para a elaboração dos projetos, foram coletados e utilizados dados GIS provenientes do Visualizador de Dados do DNITGeo (VGeo), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) do Brasil, abrangendo informações geológico-geotécnicas, levantamentos topográficos, dados hidrológicos, volumes de tráfego, áreas de caracterização ambiental, traçados das rodovias estaduais e federais, bem como áreas urbanas e rurais para análise de possíveis desapropriações.

Na Etapa 1 de modelagem, empregou-se o software InfraWorks para criar uma modelagem preliminar dos acessos rodoviários e do viaduto, proporcionando uma visão abrangente do empreendimento. Posteriormente, utilizou-se o Autodesk Revit para o detalhamento dos projetos estruturais, incluindo o viaduto e as contenções, enquanto o Autodesk Civil 3D foi adotado para o detalhamento dos corredores de projeto, abrangendo as disciplinas de geometria viária, terraplenagem, pavimentação, drenagem e sinalização. O Autodesk Navisworks desempenhou um papel crucial na coordenação e compatibilização dos diferentes projetos. A integração desses softwares

possibilitou uma colaboração eficiente para a criação do modelo federado de projeto, assegurando a consistência e precisão dos dados (Figura 2).

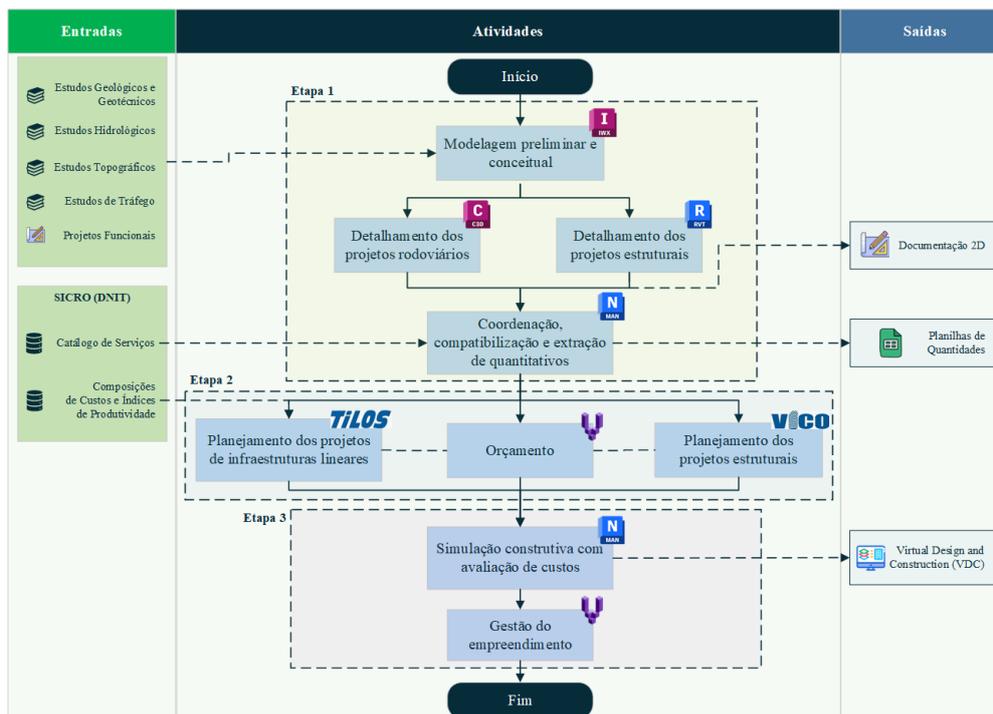


**Figura 2**  
Modelo federado do estudo de caso no Navisworks Manage.

No desenvolvimento da Etapa 2, para gestão de produção, foram adotados softwares especializados para aprimorar o planejamento e a execução das obras. O Trimble Tilo possui um papel fundamental no planejamento das infraestruturas lineares, proporcionando uma visão temporal clara e auxiliando na programação das atividades ao longo do projeto. Para o viaduto e contenções, o Trimble Vico Office foi empregado no planejamento detalhado, sincronizando as informações do modelo BIM com as etapas de construção. De forma complementar a esse processo, o software AltoQi Visus foi utilizado para a elaboração do orçamento vinculado ao modelo federado de modo a obter, além dos custos, os índices de produtividade para alimentar os softwares de planejamento utilizados, consolidando a eficácia da integração entre tecnologias inovadoras para a gestão do projeto do retorno em desnível.

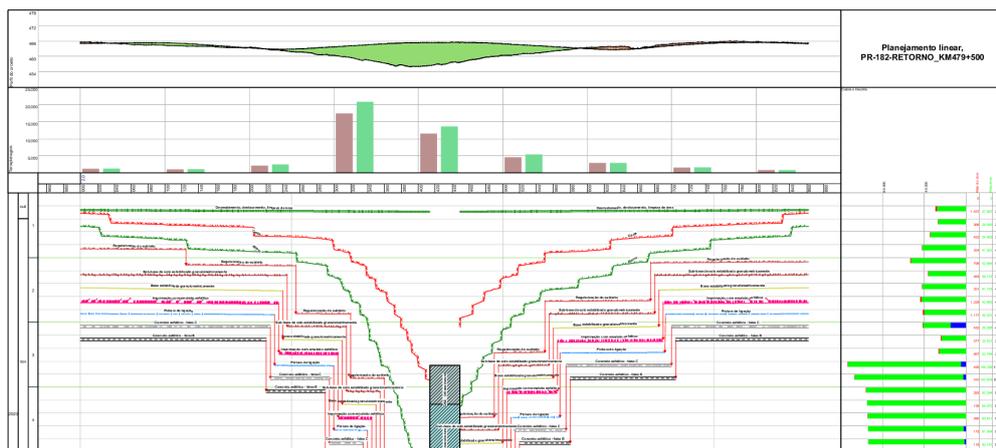
Por fim, com os resultados obtidos das etapas anteriores, na Etapa 3 foram realizadas análises a partir do fluxo de trabalho proposto, incluindo simulação construtiva com avaliação de custos no Autodesk Navisworks e gestão do empreendimento no AltoQi Visus. A Figura 3 ilustra a metodologia adotada neste estudo, destacando as etapas sequenciais que envolvem a integração dos softwares nas Etapas 1 e 2, com os dados de entrada e de saída. Essa abordagem estratégica permitiu uma modelagem preliminar, detalhamento e coordenação eficiente dos projetos, facilitando uma simulação construtiva abrangente e análise de custos, resultando em um *Virtual Design and Construction* (VDC).

**Figura 3**  
Fluxo adotado para o gerenciamento do projeto.



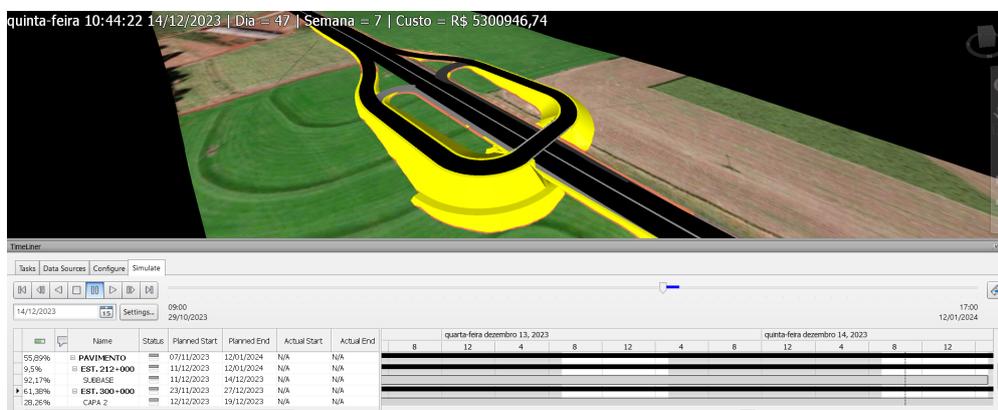
#### 4. Resultados do gerenciamento do projeto

Após a fase de modelagem preliminar, detalhamento dos projetos e coordenação, assim como a compatibilização e extração de quantitativos, os softwares Trimble Tilos e Vico Office foram adotados para o planejamento integrado. Essas plataformas não apenas possibilitaram a visualização harmonizada das atividades, mas também ofereceram a possibilidade de verificar interferências entre elas. Além disso, ao empregar métodos de linhas de balanço em diagramas espaço-tempo e integrar-se de maneira eficiente com orçamento associado às atividades de obra e projetos (Figura 4), esses softwares garantiram uma abordagem holística ao planejamento. Com uma integração eficiente ao orçamento vinculado às atividades de obras e projetos, elaborado em cooperação com o AltoQi Visus, os softwares permitiram a análise estratégica de cenários para o remanejamento de recursos, incluindo mão de obra e equipamentos. Essa capacidade refinada possibilitou otimizar a produtividade das equipes de trabalho, oferecendo uma abordagem dinâmica e adaptável para as demandas do projeto, o que resultou em um cenário ideal com redução de, aproximadamente, 17,24% do prazo de execução inicial planejado e acréscimo de apenas 5,15% no orçamento final.



**Figura 4**  
Linhas de balanço em diagrama espaço-tempo e histograma de orçamento associado às atividades à direita no software Trimble Tilos.

Após a definição do cenário ideal para a execução do projeto, foi empreendida uma simulação construtiva abrangente, incorporando a avaliação de custos e a integração de ativos por meio do Navisworks (Figura 5). Esta abordagem estratégica revelou-se crucial para o sucesso do empreendimento, proporcionando uma visualização precisa e detalhada de cada fase construtiva. Os principais benefícios dessa simulação foram a identificação proativa de potenciais desafios, a otimização dos recursos financeiros mediante a avaliação dos custos envolvidos e a garantia de uma integração de ativos, resultando em maior eficiência operacional e na redução de possíveis retrabalhos.



**Figura 5**  
Simulação construtiva incorporando a avaliação de custos e a integração de ativos no Navisworks Manage.

Durante o processo de simulação construtiva, foram examinados diferentes cenários alternativos, considerando variações em termos de custos, prazos e recursos, utilizando as funcionalidades dos softwares Vico Office e Tilos da Trimble. Durante o processo de desenvolvimento, ambos permitiram o planejamento realizando associações de tarefas, quantitativos e índices de produtividade, resultando em prazos bem definidos para cada atividade.

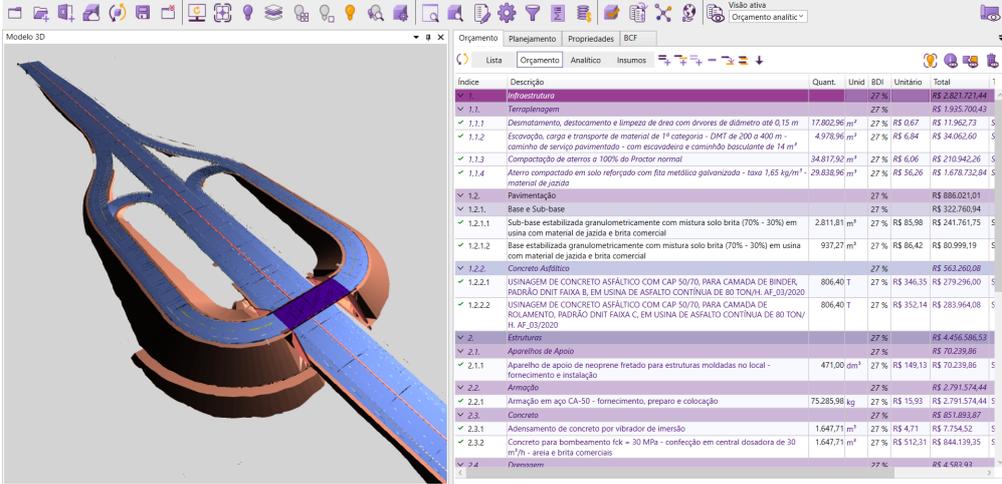
Tratando-se das diferenças entre os softwares da Trimble, o Vico Office permitiu trabalhar com modelo IFC, o que não foi possível no Tilos. Outra questão identificada foi a compatibilidade de diagramas unifilares com a localização dos elementos da

obra de forma visual na interface do Tilos. O Tilos possibilitou o controle de volumes de terraplenagem a partir de um diagrama de Bruckner, visto que ele é desenvolvido especificamente para obras lineares, o que não é possível no Vico Office, uma vez que este é destinado para obras pontuais.

Além disso, cabe destacar uma limitação do Tilos e do Vico Office que é a falta de conexão direta com bancos de dados online. Neste caso, o AltoQi Visus foi utilizado como alternativa para o orçamento e gestão do empreendimento (Figura 6), possibilitando a conexão online dos bancos de dados do SICRO, permitindo atualização mensal do banco de dados de composição de custos de serviços, insumos e equipamentos, referenciando a economia brasileira. Ademais, o AltoQi Visus também viabiliza a visualização do IFC 4, propiciando a realização de análises mais precisas do projeto.

**Figura 6**

Elaboração do orçamento vinculado ao modelo federado, exportado em IFC 4, no AltoQi Visus.



Índice	Descrição	Quant.	Unid.	BDI	Unitário	Total
1	Infraestrutura			27%		R\$ 2.831.727,44
1.1	Terras e terraplenagem			27%		R\$ 1.925.760,43
1.1.1	Desmontamento, destocamento e limpeza de área com diâmetro até 0,15 m	17.802,96	m <sup>2</sup>	27%	R\$ 0,67	R\$ 11.962,73
1.1.2	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria - DMT de 200 a 400 m - caminho de serviço pavimentado - com escavadeira e caminhão basculante de 14 m <sup>3</sup>	4.978,96	m <sup>3</sup>	27%	R\$ 6,84	R\$ 34.062,60
1.1.3	Compactação de areias ≥ 100% do Proctor normal	34.817,90	m <sup>2</sup>	27%	R\$ 6,06	R\$ 210.942,26
1.1.4	Ateno compactada em solo reforçado com fita metálica galvanizada - taxa 1,65 kg/m <sup>2</sup> material de jazida	29.838,96	m <sup>2</sup>	27%	R\$ 56,26	R\$ 1.678.732,84
1.2	Pavimentação			27%		R\$ 886.021,01
1.2.1	Base e Sub-base			27%		R\$ 322.760,94
1.2.1.1	Sub-base estabilizada granulometricamente com mistura solo brita (70% - 30%) em usina com material de jazida e brita comercial	2.811,81	m <sup>3</sup>	27%	R\$ 85,98	R\$ 241.761,75
1.2.1.2	Base estabilizada granulometricamente com mistura solo brita (70% - 30%) em usina com material de jazida e brita comercial	937,27	m <sup>3</sup>	27%	R\$ 86,42	R\$ 80.999,19
1.2.2	Concreto de bitúmen			27%		R\$ 563.260,08
1.2.2.1	USINAGEM DE CONCRETO ASFÁLTICO COM CAP 50/70, PARA CAMADA DE BINDER, PADRÃO DINT FAIXA B, EM USINA DE ASFALTO CONTÍNUA DE 80 TON/H, AF_03/2020	806,40	T	27%	R\$ 346,35	R\$ 279.296,00
1.2.2.2	USINAGEM DE CONCRETO ASFÁLTICO COM CAP 50/70, PARA CAMADA DE REFORÇAMENTO, PADRÃO DINT FAIXA C, EM USINA DE ASFALTO CONTÍNUA DE 80 TON/H, AF_03/2020	806,40	T	27%	R\$ 352,14	R\$ 283.964,08
2	Estruturas			27%		R\$ 4.456.586,53
2.1	Aparelhos de Apoio			27%		R\$ 70.239,86
2.1.1	Aparelho de apoio de neoprene tratado para estruturas moldadas no local - fornecimento e instalação	471,00	dm <sup>3</sup>	27%	R\$ 149,13	R\$ 70.239,86
2.2	Armação			27%		R\$ 2.791.574,44
2.2.1	Armação em aço CA-50 - fornecimento, preparo e colocação	75.285,98	kg	27%	R\$ 15,93	R\$ 2.791.574,44
2.3	Calagem			27%		R\$ 851.892,87
2.3.1	Adensamento de concreto por vibrador de imersão	1.647,71	m <sup>3</sup>	27%	R\$ 4,71	R\$ 7.754,52
2.3.2	Concreto para bombeamento fck = 30 MPa - confecção em central dosadora de 30 m <sup>3</sup> /h - areia e brita comerciais	1.647,71	m <sup>3</sup>	27%	R\$ 512,31	R\$ 844.139,35
2.4	Formas			27%		R\$ 4.583,83

As análises realizadas nos softwares proporcionaram uma visão abrangente dos cenários críticos que poderiam impactar o desenvolvimento do projeto. Como resultado, foi possível identificar as melhores estratégias, priorizar ações e tomar decisões embasadas para mitigar riscos e alcançar os objetivos estabelecidos.

Ao analisar a dimensão do tempo, os softwares Autodesk Navisworks e AltoQi Visus mostraram-se cruciais para examinar os cronogramas das atividades, desenvolvidos no Trimble Tilos e Vico Office. A identificação de possíveis atrasos ou adiantamentos foi melhor apresentada, destacando-se a conexão com o banco de dados do SICRO realizada pelo AltoQi Visus de forma online.

No que diz respeito à dimensão de custos, a avaliação dos gastos associados a cada fase do projeto foi possível no Tilos e no Vico Office. Isso incluiu não apenas os custos diretos, mas também os custos indiretos e imprevistos. A comparação entre os softwares forneceu *insights* valiosos sobre a eficiência na gestão financeira do projeto, possibilitando a identificação de áreas que demandam maior controle ou otimização de recursos. No contexto de linhas de balanço com verificação de custos,

o Tilos demonstrou ser o melhor software para acompanhar o andamento do projeto, sendo o único a possibilitar o controle de volumes de terraplenagem a partir de um diagrama de Bruckner.

#### 4.1. Estratégias para mitigação de riscos na integração de ativos

Para mitigar os riscos na integração de ativos em ambientes BIM, durante a elaboração do projeto, foram desenvolvidas compatibilizações de formatos de dados para integrar os softwares de modelagem com os de planejamento e orçamento. No caso dos softwares da Autodesk com o Tilos, os dados e quantitativos foram exportados automaticamente em formatos de planilha Excel \*.XLS e arquivos de texto \*.TXT, aceitáveis pelo software da Trimble. Em relação ao Vico Office e ao AltoQi Visus, o formato IFC possibilitou a interoperabilidade. Entre os softwares da Autodesk, trabalhou-se com os formatos nativos.

Além das compatibilizações de formatos de dados, estabeleceu-se um fluxo de trabalho bem definido para a produção, verificação e validação de informações geométricas e não geométricas, visando ainda a mitigação de riscos. Neste quesito, os softwares Autodesk Navisworks e AltoQi Visus foram cruciais para examinar todas as informações geométricas e não geométricas dos modelos durante a coordenação, compatibilização e simulação construtiva, verificando o planejamento e os custos das atividades planejadas nos softwares Tilos e Vico Office da Trimble.

Portanto, a mitigação de riscos na integração de ativos em ambientes BIM não é apenas uma questão técnica, mas também demanda uma mudança cultural e organizacional para promover a colaboração entre os diversos interessados envolvidos no processo. Essa associação oferece oportunidades significativas, mas sua eficácia está intrinsecamente ligada à identificação e superação de desafios, como estratégias que visam à padronização, validação contínua e transformação cultural.

### 5. Conclusão

Este artigo visa contribuir para a compreensão e adoção crescente de práticas avançadas de gerenciamento de projetos na infraestrutura rodoviária, convergindo com as tendências presentes na literatura acadêmica especializada no tema e sinalizando pontos de atenção. Para tanto, foi apresentado um fluxo de gestão e planejamento baseado em três etapas: modelagem; gestão da produção; e análise dos cenários. Dessa forma, foi possível realizar a simulação de diferentes cenários, considerando variações em termos de custos, prazos e recursos. Os softwares utilizados para as análises ofereceram uma compreensão ampla das diversas situações que poderiam influenciar o progresso do projeto.

Este trabalho evidencia como a bem-sucedida integração de softwares BIM e de gestão de produção resulta não apenas em economia de tempo, mas também na alocação eficiente de recursos, corroborando com novas possibilidades de fluxos de

planejamento. O estudo apresentou um modelo de gestão e planejamento com ênfase em simulações de tempo e custo, que possibilitou a integração de ativos em ambientes BIM e a mitigação de riscos.

A integração de ativos em BIM oferece oportunidades significativas, contudo, a efetividade desse processo está intimamente vinculada à identificação e superação de obstáculos. Estratégias que visam à padronização e validação da integração de ativos podem ser discutidas em pesquisas futuras com estudos de casos de exemplos práticos. Outra possibilidade de pesquisa seria o aprofundamento em outras alternativas de softwares de planejamento, permitindo a comparação de tecnologias a partir de uma avaliação de impacto do projeto e a economia nas dimensões de tempo e custos

## Referências

- [1] B. T. Adey, "A road infrastructure asset management process: gains in efficiency and effectiveness", *Infrastructure Asset Management*, vol. 6, n.º 1, pp. 2-14, mar. 2019, doi: 10.1680/jinam.17.00018.
- [2] B. T. Adey, M. Burkhalter, e C. Martani, "Defining road service to facilitate road infrastructure asset management", *Infrastructure Asset Management*, vol. 7, n.º 4, pp. 240-255, dez. 2020, doi: 10.1680/jinam.18.00045.
- [3] K. Priyatiningsih e M. Sutrisno, "Road infrastructure asset management strategy and its impact on the environment", *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 830, n.º 2, p. 022030, abr. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/830/2/022030.
- [4] S. Caldera, S. Mostafa, C. Desha, e S. Mohamed, "Integrating disaster management planning into road infrastructure asset management", *Infrastructure Asset Management*, vol. 8, n.º 4, pp. 219-233, dez. 2021, doi: 10.1680/jinam.21.00012.
- [5] A. Costin, A. Adibfar, H. Hu, e S. S. Chen, "Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations", *Automation in Construction*, vol. 94, pp. 257-281, out. 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2018.07.001.
- [6] J. Zhu, X. Wang, P. Wang, Z. Wu, e M. J. Kim, "Integration of BIM and GIS: Geometry from IFC to shapefile using open-source technology", *Automation in Construction*, vol. 102, pp. 105-119, jun. 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.02.014.
- [7] A. Vilventhan e R. Rajadurai, "4D Bridge Information Modelling for management of bridge projects: a case study from India", *BEPAM*, vol. 10, n.º 3, pp. 423-435, dez. 2019, doi: 10.1108/BEPAM-05-2019-0045.
- [8] G. S. Floros e C. Ellul, "LOSS OF INFORMATION DURING DESIGN & CONSTRUCTION FOR HIGHWAYS ASSET MANAGEMENT: A GEOBIM PERSPECTIVE", *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, vol. VIII-4/W2-2021, pp. 83-90, out. 2021, doi: 10.5194/isprs-annals-VIII-4-W2-2021-83-2021.

- [9] C. Jofré-Briceño, F. Muñoz-La Rivera, E. Atencio, e R. F. Herrera, "Implementation of Facility Management for Port Infrastructure through the Use of UAVs, Photogrammetry and BIM", *Sensors*, vol. 21, n.º 19, p. 6686, out. 2021, doi: 10.3390/s21196686.
- [10] P. Hagedorn *et al.*, "BIM-Enabled Infrastructure Asset Management Using Information Containers and Semantic Web", *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 37, n.º 1, p. 04022041, jan. 2023, doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0001051.
- [11] S. A. Biancardo, A. Capano, S. G. de Oliveira, e A. Tibaut, "Integration of BIM and Procedural Modeling Tools for Road Design", *Infrastructures*, vol. 5, n.º 4, p. 37, abr. 2020, doi: 10.3390/infrastructures5040037.
- [12] K. Castañeda, O. Sánchez, R. F. Herrera, E. Pellicer, e H. Porras, "BIM-based traffic analysis and simulation at road intersection design", *Automation in Construction*, vol. 131, p. 103911, nov. 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103911.
- [13] F. Maltinti, L. Curreli, E. Quaquero, G. Rubiu, e M. Coni, "Applying Building Information Modeling to Road Pavements Management", em *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021*, vol. 12958, O. Gervasi, B. Murgante, S. Misra, C. Garau, I. Blečić, D. Taniar, B. O. Apduhan, A. M. A. C. Rocha, E. Tarantino, e C. M. Torre, Orgs., em *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 12958., Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 145-160. doi: 10.1007/978-3-030-87016-4\_11.
- [14] J.-R. Chang e H.-S. Lin, "Underground Pipeline Management Based on Road Information Modeling to Assist in Road Management", *J. Perform. Constr. Facil.*, vol. 30, n.º 1, p. C4014001, fev. 2016, doi: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000631.
- [15] F. D'Amico, L. Bianchini Ciampoli, A. Di Benedetto, L. Bertolini, e A. Napolitano, "Integrating Non-Destructive Surveys into a Preliminary BIM-Oriented Digital Model for Possible Future Application in Road Pavements Management", *Infrastructures*, vol. 7, n.º 1, p. 10, jan. 2022, doi: 10.3390/infrastructures7010010.
- [16] F. Delgado, M. M. Martínez-González, e J. Finat, "An evaluation of ontology matching techniques on geospatial ontologies", *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 27, n.º 12, pp. 2279-2301, dez. 2013, doi: 10.1080/13658816.2013.812215.
- [17] P. Pauwels, S. Zhang, e Y.-C. Lee, "Semantic web technologies in AEC industry: A literature overview", *Automation in Construction*, vol. 73, pp. 145-165, jan. 2017, doi: 10.1016/j.autcon.2016.10.003.
- [18] D. N. de I. de T. DNIT, *Guia de Análise de Projetos Rodoviários*, vol. 3. 2018. [Online]. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/desenvolvimento-e-projetos/1\\_GuiadeAnalise\\_Leituradigital\\_V3\\_.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/desenvolvimento-e-projetos/1_GuiadeAnalise_Leituradigital_V3_.pdf).

- [19] A.-M. Mahamadu, L. Mahdjoubi, e C. A. Booth, "Challenges to digital collaborative exchange for sustainable project delivery through building information modelling technologies", apresentado em THE SUSTAINABLE CITY 2013, Putrajaya, Malaysia, dez. 2013, pp. 547-557. doi: 10.2495/SC130461.
- [20] R. Kenley, T. Harfield, e A. Behnam, "BIM Interoperability Limitations: Australian and Malaysian Rail Projects", *MATEC Web Conf.*, vol. 66, p. 00102, 2016, doi: 10.1051/mateconf/20166600102.
- [21] M. Svensson e O. Friberg, "BIM - the Key for Implementation of Geophysics in Infrastructure Planning", em *1st Conference on Geophysics for Infrastructure Planning Monitoring and BIM*, The Hague, Netherlands, : European Association of Geoscientists & Engineers, 2019, pp. 1-5. doi: 10.3997/2214-4609.201902542.

# Gerenciamento integrado em BIM: vinculando avanços físico-financeiros ao modelo 3D

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.46>

**Juliana Scanoni<sup>1</sup>, Carlos Ivan<sup>1</sup>, Mariana Moraes<sup>1</sup>,  
Felipe Barros<sup>1</sup>, Anna Julia Ribeiro<sup>1</sup>, Edmar Alencar<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *TPF Engenharia, Recife, Brasil.*

## Resumo

O desenvolvimento de uma plataforma que pudesse unir a visualização 3D às informações de planejamento e execução de avanço físico de obra foi motivado pelo potencial da solução na melhoria do acompanhamento do cronograma de obra através de uma gestão à vista do avanço associado a elementos físicos reais do projeto. Essa integração possibilita a conexão de elementos do modelo BIM 3D conectados ao banco de dados SQL, possibilitando o acompanhamento visual e favorecendo o gerenciamento integral da obra. Nomeado como 3D Viewer, a solução faz uso dos serviços da *Autodesk Platform Services* (APS) para oferecer uma solução inovadora desenvolvida em JavaScript, ReactJS e Node.js. Seu código foi construído a fim de garantir altos padrões de desempenho e escalabilidade, podendo ser aplicado em diversas obras de forma flexível.

## 1. Introdução

A constante busca por ferramentas que aprimorem e otimizem o gerenciamento de projetos no setor da engenharia tem impulsionado o contínuo desenvolvimento de soluções que integram tecnologia e funcionalidade. Em um setor onde a eficiência e decisões desempenham papéis cruciais, é essencial contar com uma solução que ofereça uma resposta direta às complexidades da engenharia, promovendo não apenas inovação, mas também eficácia na execução de projetos desafiadores. O objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento próprio de uma ferramenta que maximiza a eficiência da gestão física da obra através do BIM, 3D Viewer.

## 2. Contextualização

A complexidade de projetos de engenharia envolve diversas disciplinas e regulamentações, ampliada pelos desafios logísticos, climáticos e ambientais quando se trata da execução eficiente de uma obra. Um estudo conduzido pela McKinsey Brasil [1], revelou que altos executivos de projetos frequentemente enfrentam a realidade desconfortável de que os projetos extrapolam significativamente os limites previamente estabelecidos para orçamento e cronograma, onde 80% deles tiveram aumento de custo e atrasos de quase 20 meses no cronograma de entrega da obra[1].

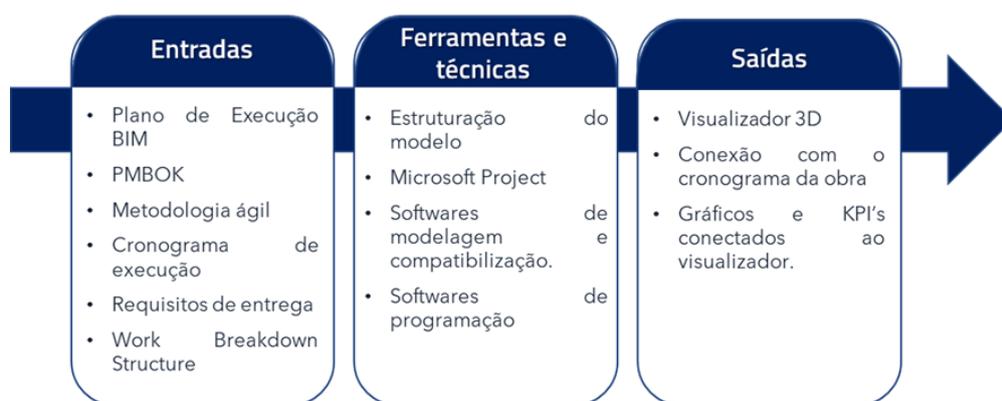
A utilização da metodologia *Building Information Modeling* (BIM) emerge cada vez mais como uma alternativa para evoluir a tecnologia de planejamento e programação de obras [2]. Uma notável aprimoração na eficiência do planejamento de construção pode ser obtida por meio da aplicação de modelos de processos reutilizáveis durante a elaboração de cronogramas fundamentados em BIM [3].

Conforme destacado por Dang e Tarar [4], a modelagem 4D tornou-se uma ferramenta promissora para o planejamento da construção, proporcionando benefícios significativos como uma visualização aprimorada das etapas, comunicação eficiente entre as equipes de projetos e maior eficiência na elaboração do planejamento [4]. Ao integrar o fator temporal, o modelo 4D possibilita aos gestores visualizar claramente suas metas diretamente no modelo da construção [5].

Nesse contexto, o 3D Viewer surge como uma tecnologia para mitigar os problemas comuns, maximizando o gerenciamento do cronograma de obras, 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). O resultado obtido foi um monitoramento mais assertivo, otimização do tempo, maior economia dos recursos e tomada de decisões rápidas e precisas, com a solução integrada ao banco de dados do Plug.

### 3. Metodologia

A metodologia para o desenvolvimento do 3D Viewer foi conduzida de maneira estruturada com base nas boas práticas do PMBOK (*Project Management Body Of Knowledge*) com o uso de metodologia ágil, já incorporado na sétima edição do guia. Para a construção da tecnologia o processo da execução levou em consideração a abordagem em três etapas (1) Entradas (2) Ferramentas/Técnicas e (3) Saídas (ITTOs – inputs, tools/techniques and outputs) [6], sendo desenvolvido em iterações com a participação de uma equipe multidisciplinar.



**Figura 1**  
ITTOs para o processo de execução do 3D Viewer.

Durante o ciclo de vida do projeto, os documentos considerados como entradas foram sendo melhorados em projetos paralelos, e os documentos de saída deste também foram evoluindo, além de novos documentos e stakeholders que foram introduzidos até a reta final do projeto, justificando a utilização da metodologia ágil.

#### 3.1. Entradas

As entradas necessárias para guiar a execução do 3D Viewer, compreendeu:

- *Work Breakdown Structure* (WBS): base para a integração e interoperabilidade dos dados. Decomposição abrangente do projeto, alinhada aos diferentes níveis de gerenciamento estabelecidos. O resultado da hierarquização compõe a WBS do projeto, criando uma estrutura de divisão física, na qual cada nível hierárquico recebeu uma identificação única, criando assim uma chave de interconexão entre o modelo 3D e o banco de dados.
- Plano de Execução BIM (PEB): esse documento desempenha um papel crucial ao registrar de forma minuciosa a coordenação de todos os projetos envolvidos no planejamento e execução do empreendimento. Além de fornecer uma visão abrangente, o PEB permite a estruturação de um padrão de informações a ser adotada na construção da WBS ao longo de todo o projeto, contribuindo para a consistência e eficiência operacional.
- PMBOK: Guia *Project Management Body of Knowledge* é um conjunto de práticas na gestão de projetos organizado pelo instituto PMI. A equipe elaborou o

planejamento de execução das atividades seguindo o guia, seguindo ciclo de vida de um projeto incluindo principalmente controle do custo, tempo, riscos e qualidade.

- Metodologia ágil: foi adotada uma abordagem ágil visando promover a colaboração, adaptação contínua e entrega incremental, com execução das iterações, garantindo uma resposta flexível às necessidades em evolução do projeto.
- Cronograma físico: o cronograma desenvolvido pelo cliente, na plataforma Microsoft Project, com dados referentes a evolução da obra a ser monitorada.
- Requisito de entrega: para atender as necessidades do cliente foi necessário pensar em uma ferramenta que possibilitasse uma maior eficiência na gestão do avanço físico e do cronograma da obra desde o planejamento até a execução da obra.

### 3.2. Ferramentas e técnicas

Essa etapa aborda as ferramentas utilizadas e as técnicas aplicadas, cada ferramenta representou um componente estratégico do processo, a técnica delineou uma abordagem precisa para otimizar tempo e maximizar os resultados.

Para o desenvolvimento propriamente dito da solução da visão 3D integrada ao banco de dados de um sistema de gestão, foram utilizados alguns softwares de programação. O desenvolvimento da aplicação foi executado em duas vertentes diferentes, o back-end e o front-end. O primeiro funciona como o cérebro por trás das cenas, responsável pelo gerenciamento de dados e lógica de negócio, enquanto o segundo é a interface com a qual os usuários interagem. As ferramentas utilizadas em ambas as perspectivas se dividiram da seguinte maneira:

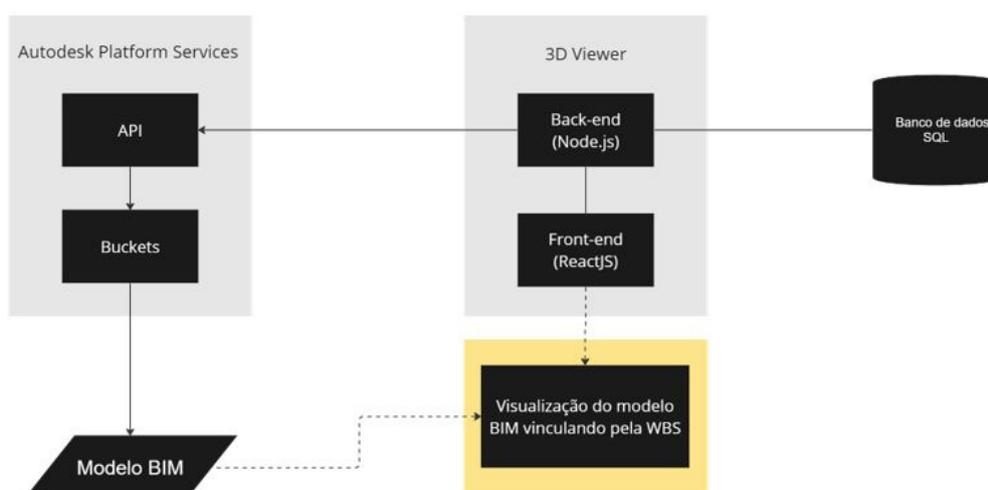
- Front-end: no desenvolvimento da aplicação web, foi optado pela utilização da biblioteca ReactJS para proporcionar uma experiência interativa e acessível aos usuários. Além de sua vasta utilização, o ReactJS oferece um grande ecossistema que contribui para o desenvolvimento. A capacidade de componentização da aplicação facilita a escalabilidade do projeto, permitindo uma abordagem modular que simplifica a manutenção e o crescimento. Também foram utilizadas outras bibliotecas-chaves como *React Query* e *axios* que adicionam uma camada de cache nas requisições feitas para API, melhorando o desempenho e proporcionando uma melhor experiência para o usuário.
- Back-end: o Node.js foi escolhido para o desenvolvimento da API devido ao dinamismo do ecossistema JavaScript e a facilidade de desenvolvimento. Ao permitir a execução de código JavaScript no lado do servidor, o Node.js permite uma integração mais simples entre as duas plataformas. Sua abordagem assíncrona torna o tratamento de múltiplas requisições simultâneas eficiente, garantindo fluidez e escalabilidade. Além disso, a grande quantidade de bibliotecas disponíveis também acelera o desenvolvimento, facilitando a integração tanto com o banco de dados quanto com a própria

APS (*Autodesk Platform Services*), plataforma de desenvolvimento em nuvem da Autodesk que possibilitou a integração com a visualização do modelo 3D BIM.

```
const realizado = await sql.query`
SELECT
  DATEPART(YEAR, CONVERT(datetime, TimeByDay, 103)) AS Ano,
  DATEPART(MONTH, CONVERT(datetime, TimeByDay, 103)) AS Mes,
  (SUM(CAST(REPLACE(TaskActualWork, ',', '') AS decimal(18, 6))) / TotalSomaTotal) * 100 AS Quantidade
FROM
  [BRASKEMHOMOLOG_BI].[dbo].[MS_TaskTimephasedDataSet]
CROSS JOIN (
  SELECT
    SUM(CAST(REPLACE(TaskBaselineWork, ',', '') AS decimal(18, 6))) AS TotalSomaTotal
  FROM
    [BRASKEMHOMOLOG_BI].[dbo].[MS_TaskBaselineTimephasedDataSet]
  WHERE
    ProjectId = ${projectId}
) AS TotalGeral
WHERE
  ProjectId = ${projectId}
GROUP BY
  DATEPART(MONTH, CONVERT(datetime, TimeByDay, 103)),
  DATEPART(YEAR, CONVERT(datetime, TimeByDay, 103)),
  TotalSomaTotal
ORDER BY Ano, Mes;
`;
```

**Figura 2**  
Consulta ao banco de dados para coleta do avanço físico realizado.

Para o desenvolvimento da solução, assim como citado nas entradas, foram utilizados conceitos do guia PMBOK e metodologia ágil. Essa segunda busca gerar o máximo de valor possível nas entregas do produto em curto espaço de tempo, nas chamadas iterações, calcada no chamado Manifesto para Desenvolvimento Ágil de Software que valoriza: indivíduos e interações mais que processos e ferramentas, software em funcionamento mais que documentação abrangente, colaboração com o cliente mais que negociação de contratos e responder a mudanças mais que seguir um plano [7].



**Figura 3**  
Fluxo da aplicação.

No que tange a utilização da solução, previamente é necessário que haja a construção do modelo BIM propriamente dito, ou seja, a elaboração de um projeto de engenharia utilizando conceitos BIM, e a elaboração de um cronograma de execução da obra. Para isto, podemos dividir o conceito em dois tipos de software descritos a seguir:

- (1) Software de gestão: foi utilizado o Microsoft Project (MS Project), software de gestão de projetos produzido pela Microsoft, responsável pela construção e edição dos cronogramas físicos da obra.
- (2) Softwares de engenharia: o processo de construção e coordenação do modelo espacial deu-se através da utilização dos softwares Revit, Civil 3D e Navisworks. O Revit proporcionou uma abordagem integrada para a modelagem de disciplinas específicas de engenharia, enquanto o Civil 3D ofereceu recursos avançados para o design e a análise de infraestruturas. Complementarmente, o Navisworks destacou-se na federação dessas disciplinas, promovendo uma visualização holística e integrada do projeto. Posteriormente, uma vez que o arquivo BIM foi executado e passou por validação, a gestão dessas informações foi transferida para o formato IFC (*Industry Foundation Classes*). Esse formato aberto proporcionou a padronização eficiente para a interoperabilidade entre diferentes softwares e disciplinas.

Vale ressaltar que os dados inseridos em ambos os softwares de gestão e engenharia levaram em consideração uma estrutura com base em conceitos WBS, orientações do PEB e expertise das equipes de projetos e gerenciamento. Assim, foi possível utilizar a codificação da WBS como chave única para cada elemento 3D para realizar a conexão da informação no banco de dados, mais precisamente as informações contidas no software de gestão.

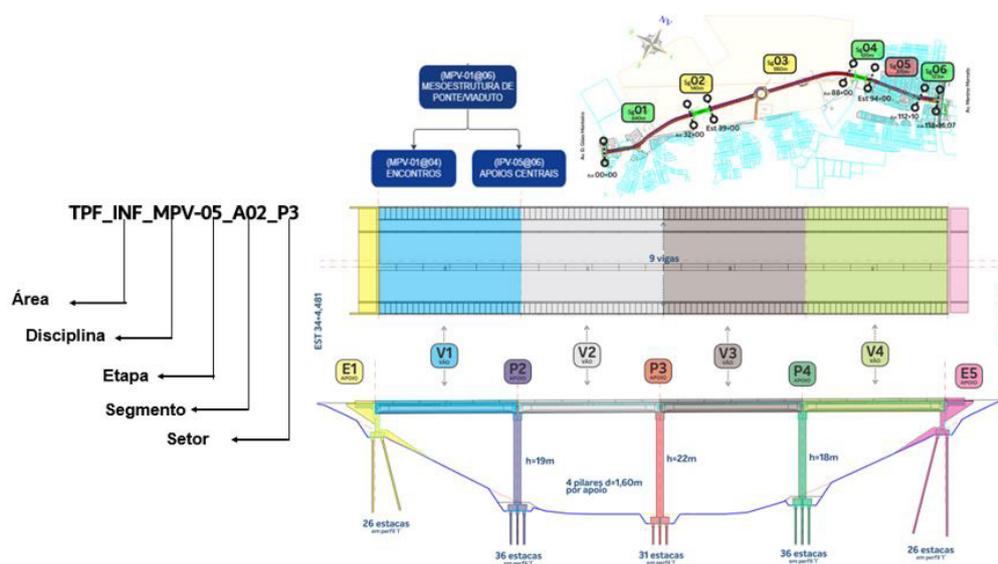
Detalhando um pouco mais sobre a construção da WBS na estruturação do modelo, o processo teve início utilizando um template padronizado que estabelece uma hierarquia organizada dos elementos físicos de um projeto. Esse template serviu como base estrutural para identificar e categorizar as tarefas e entregas específicas do projeto de infraestrutura. O modelo foi construído com a associação de códigos padronizados aos elementos do 3D.

Com o objetivo de atender a necessidade de um gerenciamento macro que pudesse facilmente se relacionar ao modelo 3D, a estrutura do código foi fundamentada nas seguintes considerações:

- Empresa: nome da organização responsável pelo projeto.
- Área: representa a natureza do projeto. Nesse caso, como se trata de uma obra de infraestrutura, identificamos através da sigla INF.
- Disciplina: corresponde a uma parte específica da Estrutura Analítica do Projeto (EAP), indicando o serviço em que o elemento se enquadra.
- Etapa: diretamente relacionado ao cronograma do projeto, evidenciando a etapa em que a obra se encontra.
- Segmento: corresponde à localização na segmentação realizada no modelo.

- Setor: esse parâmetro é exclusivo para obras de arte especiais, marcando áreas específicas do projeto.

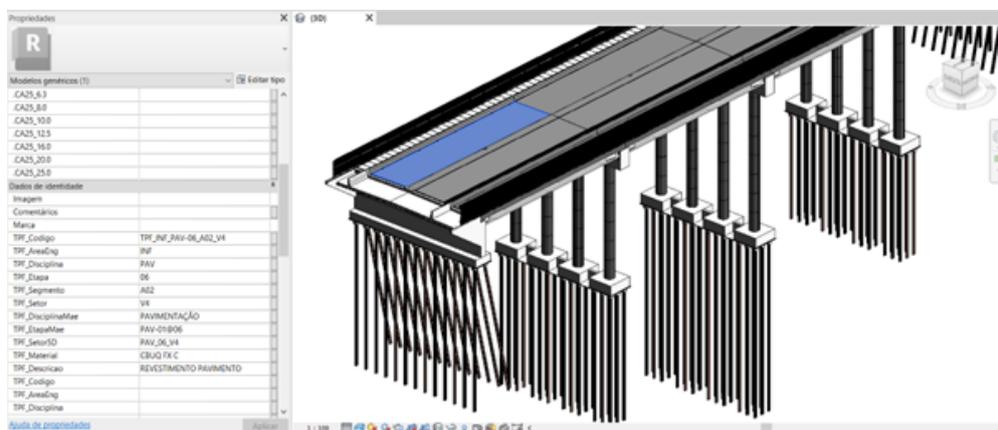
Essa estrutura possibilitou uma representação clara dos elementos essenciais, promovendo um gerenciamento eficiente e uma integração harmoniosa com o modelo 3D. Adotando essa abordagem, a configuração do código ficou apresentado da seguinte maneira:



**Figura 4**  
Caracterização dos parâmetros utilizados no código WBS.

Cada elemento na hierarquia da WBS foi estrategicamente vinculado a componentes específicos no modelo 3D, garantindo uma correspondência direta entre a estrutura do projeto e sua representação espacial.

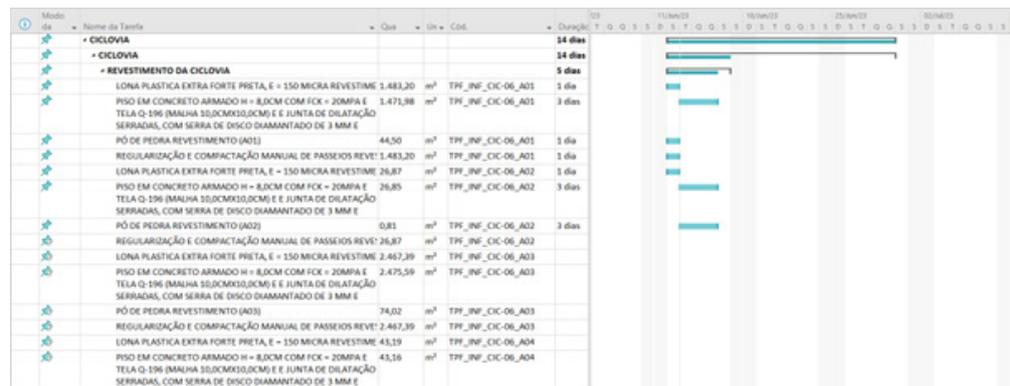
Além disso, foi empregue um conjunto de técnicas e abordagens específicas de modelagem, visando aprimorar a representação tridimensional do projeto de infraestrutura. Essas estratégias incluíram a padronização de elementos, a fim de garantir uniformidade na representação visual, e a aplicação de métodos paramétricos para permitir ajustes flexíveis no modelo conforme as mudanças na estrutura da WBS.



**Figura 5**  
Atribuição da WBS ao modelo 3D no Revit.

A imagem acima ilustra a caracterização dos elementos de um projeto dentro do Revit, no qual os dados de identidade compõem a estrutura da WBS formada para esse projeto de infraestrutura em específico. A caracterização de cada item da WBS nesse caso foi identificada com um conjunto de códigos contendo por exemplo disciplina, etapa de obra, segmento de rodovia, setor, entre outras características, o que é adaptável para cada tipo de projeto.

**Figura 6**  
Atribuição da WBS ao cronograma de obra no MS Project.

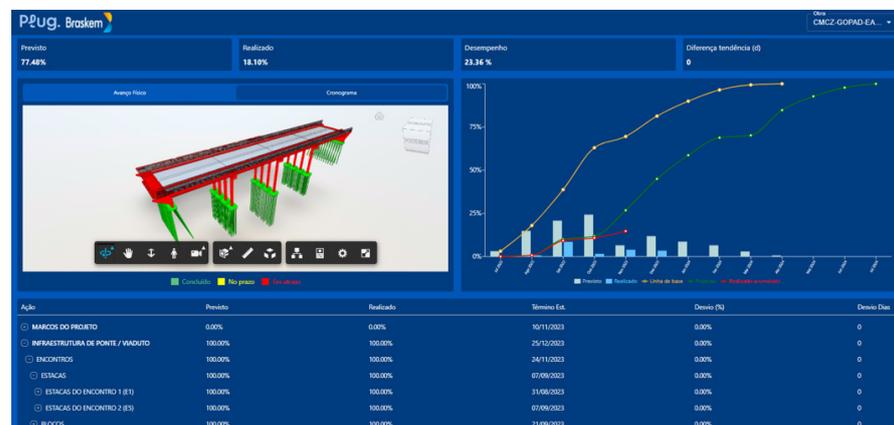


No caso do software de gestão, MS Project, é visível na imagem acima a representação do controle de datas com duração para cada atividade e as atividades associadas a códigos que representam a estrutura da WBS formada para esse projeto. Os códigos servirão de conexão da informação para vínculo com a imagem 3D na visão gerencial.

### 3.3. Saídas

Durante o desenvolvimento dessa aplicação a metodologia ágil foi utilizada também no sentido da melhoria variada referentes tanto ao front-end e back-end da ferramenta, como para criar a estruturação e documentação da WBS do projeto, trazendo mais escalabilidade da tecnologia, padronização, rastreabilidade e melhor experiência e aproveitamento para o usuário. Como componente e resultado principal da solução temos uma tela que engloba soluções de gráficos e visualização 3D dinâmicos dos dados de acompanhamento de uma obra.

**Figura 7**  
Módulo Físico-Financeiro do 3D Viewer.



A solução envolve (1) visualizador do 3D da obra interagindo com as informações do cronograma, possibilitado pela integração APS e banco de dados, além de uma série de (2) indicadores-chave de desempenho (*Key Performance Indicator* – KPIs), (3) tabela e (4) gráfico da curva S, que representam quantitativos importantes da obra. Tudo isso embedado na infraestrutura da plataforma de gerenciamento da TPF Engenharia, nomeadamente o Plug.

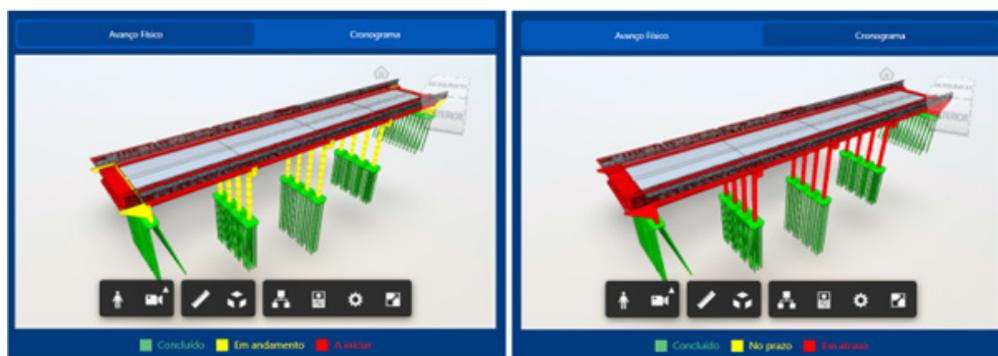
Na barra superior da solução temos os (2) KPIs, com o objetivo de fornecer em números uma visão macro e direta da situação atual da obra, sendo selecionados os seguintes:

- Previsto: Percentual previsto do andamento da obra;
- Realizado: Percentual realizado do andamento da obra;
- Desempenho: Percentual do desempenho do andamento da obra;
- Diferença Tendência: Número de dias de tendência do atraso do projeto em dias.

Em seguida, a (4) curva S fornece uma comparação entre as despesas ao longo do ciclo de vida do empreendimento e os desvios ocorridos. A sua inclusão proporcionou uma representação visual nítida do previsto, realizado, linha de projeção, linha de base e linha de realizado acumulado ao longo do tempo, oferecendo uma visão visualmente esclarecedora do progresso da obra.

A (3) tabela na barra inferior da tela apresenta a gestão de forma hierárquica de tarefas. Essa por sua vez apresenta os dados por atividade a ser executada, como relações do previsto e realizado, término estipulado e o desvio de dias.

O (1) visualizador 3D apresenta dois modelos espaciais de gerenciamento: (1.1) acompanhamento do avanço físico, levando em consideração todas as atividades planejadas para a execução, e (1.2) acompanhamento do cronograma, que analisa a relação do andamento da obra com os prazos estabelecidos.



**Figura 8**  
Modelos espaciais de gerenciamento 1.1 e 1.2.

Ambas as visualizações 3D se apresentam com variações de cores a fim de acompanhar o status da obra em relação às suas respectivas situações. As informações são inseridas no banco de dados através da integração com o MS Project e as cores do modelo são parametrizadas de acordo com condicionantes aos dados inseridos, e são

atualizadas em tempo real. Essa abordagem bifocal proporcionou uma compreensão detalhada e visualmente rica do progresso da obra.

#### 4. Considerações finais

O 3D viewer proporciona meios avançados para a gestão macro de projetos. O registro visual do progresso da obra contribui para a transparência e confiança nas relações entre as partes interessadas, oferecendo informações atualizadas e precisas sobre o projeto. Destaca-se ainda a identificação proativa de problemas e oportunidades, possibilitada pela visualização em 3D e pela conexão com o bancos de dados, facilitando a identificação rápida de desafios e áreas de aprimoramento em tempo real. A evolução do 3D viewer é contínua e pretende-se evoluir cada vez mais não só com funcionalidades proporcionadas através da Autodesk, como a ferramenta Autodesk Docs, Assemble ou Builder, mas também usufruindo de tecnologias diversas como soluções Microsoft, buscando um desenvolvimento mais flexível e adaptável.

#### Referências

- [1] MCKINSEY&CO, “Reinventing Construction: a route to higher productivity”, McKinsey Global Institute, 2017.
- [1] Sigalov, K.; König, M. “Recognition of process patterns for BIM-based construction schedules”. *Advanced Engineering Informatics*, 2017.
- [1] Crippa, J., Santos, A. P. L., Scheer, S., Silva, P. H. “Desafios e oportunidades para a implementação de BIM e cronogramas para gerenciamento de obras” in *ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 17., 2018, São Paulo. Porto Alegre: ANTAC, 2018.
- [1] Dang, D. T. P.; Tarar, M. “Impact of 4D Modeling on Construction Planning Process”, Chalmers University of Technology), Göteborg, 2012. 44 p.
- [1] Harris, B.; Alves, T. C. L. 4D, “Building information modeling and field operations: an exploratory study.” *21.ª Conferência anual do grupo internacional para construção lean, Fortaleza*, 2013. 10p.
- [1] Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK). 7 ed. Estados Unidos: PMI, Project Management Institute (PMI), 2021.
- [1] BECK, K. et al. “Manifesto para o desenvolvimento ágil de software”. 2001.

# Diretrizes para orçamentação em BIM colaborativo – aplicação em estudo de caso

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.47>

**Marcelo Nogueira<sup>1</sup>, Roberta Oliveira<sup>2</sup>,  
Lissa Araújo<sup>3</sup>, Juliana Gehlen<sup>4</sup>,  
Michele Tereza Marques Carvalho<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Universidade de Brasília, Brasília, 0009-0005-2885-9188

<sup>2</sup> Universidade de Brasília, Brasília, 0000-0001-7187-6032

<sup>3</sup> Universidade de Brasília, Brasília, 0000-0002-9517-1202

<sup>4</sup> Sindicato da Indústria da Construção Civil do Distrito Federal, Brasília, 0009-0008-0742-4275

<sup>5</sup> Universidade de Brasília, Brasília, 0000-0001-7969-9341

## Resumo

No intuito de difundir e disseminar o processo BIM (Building Information Modelling), o SINDUSCON-DF (Sindicato da Indústria da Construção Civil do Distrito Federal) criou um grupo de trabalho que reuniu profissionais multidisciplinares, universidade e empresas interessadas em se aprofundar neste conhecimento, aplicando-o em projetos de edificação e infraestrutura. Este artigo tem como objetivo registrar as competências adquiridas sobre orçamentação em BIM, a partir da análise dos modelos 3D de um sobrado modelados com diferentes critérios e ferramentas, e avaliar a precisão dos quantitativos extraídos, ao se utilizar as ferramentas de orçamentação OrçaBIM e QiVisus. O estudo para projeto de arquitetura foi constituído pela construção da EAP (Estrutura Analítica de Projeto), verificação das modelagens e extração dos quantitativos da arquitetura. Desta forma, ao final dos trabalhos, as ocorrências observadas demonstraram a necessidade de se seguir a EAP e os critérios de modelagem para a construção precisa de um modelo 3D, tanto no aspecto geométrico como no paramétrico. Além disso, mostrou como a perda de informações do modelo, ao se converter um arquivo para outro formato, afeta a orçamentação e a precisão dos quantitativos extraídos. Foi alcançada uma maior compreensão dos processos de projeto BIM pelos participantes do projeto, possibilitando que trabalhos futuros possam ser realizados com menos entraves e um maior nível de maturidade.

## 1. Introdução

A orçamentação em BIM na Indústria AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) passa por um período de desenvolvimento. Os métodos e técnicas dessa área evoluíram com o tempo, sendo que a habilidade de gerenciar custos é fundamental no ambiente da construção civil [1]. O cenário econômico atual criou a necessidade de uma reestruturação da gestão de custos. Pressões competitivas e avanços tecnológicos passaram a exigir uma gerência melhor da cadeia de valores para assegurar uma vantagem competitiva. Assim, as mudanças que surgiram deram início ao desenvolvimento de novas práticas para a gestão de custos. Escopo, tempo, risco, qualidade e eficiência passaram a ser vistos como aspectos fundamentais em um projeto [2].

Recentemente, as tecnologias associadas ao BIM têm sido adotadas na construção civil com o intuito de se aprimorar tais conceitos e extrair as vantagens que eles trazem, principalmente na redução de custos e tempo [3]. Todavia a complexidade das edificações e projetos também têm aumentado e nesse sentido, o uso da orçamentação em BIM se torna cada vez mais necessária. As técnicas tradicionais de extração de quantitativos se mostram progressivamente mais limitadas frente a tais projetos mais complexos [1]. A utilização do BIM na orçamentação facilita o processo de se obter uma estimativa de custos, reduz erros e diminui o tempo gasto [3].

Dessa maneira, o presente trabalho tem como objetivo descrever o acompanhamento da aplicação dos conceitos do BIM por meio da colaboração com o SINDUSCON-DF. Desenvolvendo um projeto de forma colaborativa de uma residência unifamiliar, cujo projeto de arquitetura foi cedido por uma construtora parceira do SINDUSCON-DF em formato CAD (*Computer Aided Design*), para servir como base para os modelos BIM. Assim, os integrantes deste grupo, atuando dentro de suas áreas de conhecimento, buscaram construir o modelo federado desta residência, realizar o planejamento e a extração de quantitativos do projeto.

## 2. Descrição da equipe de trabalho

O grupo de pesquisa responsável por esse trabalho denomina-se BIM Colaborativo do SINDUSCON-DF. A equipe é formada por engenheiros, arquitetos e estudantes de diferentes empresas e da UnB (Universidade de Brasília) que buscam “viabilizar a introdução da Modelagem da Informação da Construção (BIM) no cotidiano do setor imobiliário de Brasília – DF (Distrito Federal - Brasil”. Formado em 2018, o grupo já realizou e coordenou outros projetos no DF utilizando o processo BIM. Sendo assim, os participantes do grupo formam as equipes de Arquitetura, Estrutura, Orçamento, Planejamento e Instalações. O grupo se reúne quinzenalmente durante 2 horas através de reuniões online para a apresentação e discussão do que foi realizado nas últimas semanas. Ele é moderado por um representante do SINDUSCON-DF segundo a pauta de reunião, definida durante o período entre reuniões. Após a apresentação do tema do dia, o espaço é aberto para discussões sobre o tema da reunião ou para outros assuntos que envolvem os trabalhos do grupo. Em adição, a comunicação

fora das reuniões é feita através da troca de mensagens entre os participantes ou reuniões marcadas entre membros específicos do grupo e os arquivos que contêm o trabalho do grupo são disponibilizados para todos os participantes em um CDE (*Common Data Environment*).

### 3. Metodologia

A metodologia deste projeto consiste das seguintes etapas do desenvolvimento da residência em BIM: Montagem da EAP de arquitetura; Verificação e análise da modelagem para extração de quantitativos; Extração dos quantitativos e análise dos resultados. Sendo assim, a construção da EAP foi realizada com a colaboração conjunta dos membros das equipes de modelagem, orçamento e planejamento. A partir da experiência pessoal de cada participante a EAP foi montada. Ainda nesta etapa, os requisitos de modelagem e extração de quantitativos foram definidos. Tais requisitos fazem complemento à EAP, elucidando a forma como os objetos devem ser modelados e as informações que eles devem conter. Esta lista de requisitos se faz essencial para a orçamentação, uma vez que, um item na modelagem pode estar dentro dos padrões exigidos na EAP, mas não atender aos padrões exigidos para a orçamentação. Tal lista foi apresentada em uma das reuniões do grupo e disponibilizada no CDE.

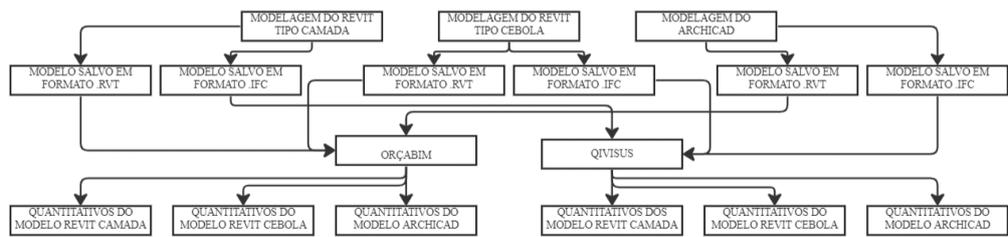
Na sequência, foi feita a verificação da modelagem. As modelagens da edificação foram realizadas em dois softwares BIM: *Archicad*, da empresa *Graphisoft*, e *Revit*, da empresa *Autodesk*. No *Revit* dois modelos foram construídos, um no estilo de modelagem tipo 'camada' e outro no tipo 'cebola'. A principal característica da modelagem tipo 'camada' é a introdução de camadas que compõe o todo da parede ou piso em um mesmo objeto. Por exemplo, pintura, reboco e bloco de alvenaria fazem parte de um mesmo objeto. De outra forma, a principal característica da modelagem tipo 'cebola' é a modelagem de objetos diferentes para cada item da parede ou piso. Por exemplo, pintura, reboco e bloco de alvenaria são objetos diferentes dentro do modelo. No *Archicad*, apenas um modelo foi construído, que possui estilo de modelagem 'camada', pois verificou-se que dependendo do formato de exportação, o IFC (*Industry Foundation Classes*) pode ser exportado como camadas ou não.

Porém, uma vez que os projetistas possuem formas de modelar que já estão habituados, fugir deste costume e se manter no padrão estabelecido pode levar a erros de origem humana na concepção da modelagem, surgindo a necessidade de verificar se os modelos seguiram a EAP. Para isso, um teste piloto foi feito com o intuito de certificar que os responsáveis pelo modelo 3D da residência foram capazes de seguir as diretrizes da EAP e se não inseriram objetos diferentes entre si. A modelagem completa foi verificada através da importação dos modelos produzidos em formato .rvt para os softwares *Revit* e em formato .ifc para o programa *QiVisus*, da empresa *Alto QI*, por serem capazes de ler e interpretar os arquivos e mostrar uma visualização do que foi modelado e as informações atreladas a cada objeto.

Por fim, a extração de quantitativos referentes à arquitetura do sobrado, foi realizada com o *add-on* OrçaBIM, que funciona em conjunto do software *Revit*, e com o

software *QiVisus*. Assim, para cada modelo 3D orçado em cada um dos dois softwares, um quantitativo de itens diferente foi obtido. Durante o uso do OrçaBIM, foram utilizados os arquivos dos modelos em formato .rvt, por se tratar de um add-on do *Revit*, e durante o uso do *QiVisus*, em formato .ifc. Isto ocorreu, pois, a utilização dos arquivos .ifc com o OrçaBIM acabaram por mostrar uma série de problemas relacionados às informações dos objetos presentes no modelo, tornando a extração de quantitativos ineficaz. Mesmo após uma série de exportações de outros tipos de .ifc, foi constatado que os parâmetros de exportação não estavam configurados desde o começo da modelagem, o que explicaria essa ineficiência. Assim, uma análise foi feita para buscar disparidades entre os quantitativos, sendo necessário compreender a origem dessas possíveis diferenças, que podem ter vindo da modelagem, mesmo que esta já tenha sido checada, ou advinda dos programas de orçamentação, que estão sujeitos a falhas durante a extração de quantitativos. O resumo dos modelos e orçamentos a serem criados neste projeto é exposto na Figura 1. Vale ressaltar que os modelos utilizados no OrçaBIM foram de extensão .rvt devido aos erros de interoperabilidade verificados quando importados em .ifc.

**Figura 1**  
Resumo de quantitativos a serem criados.

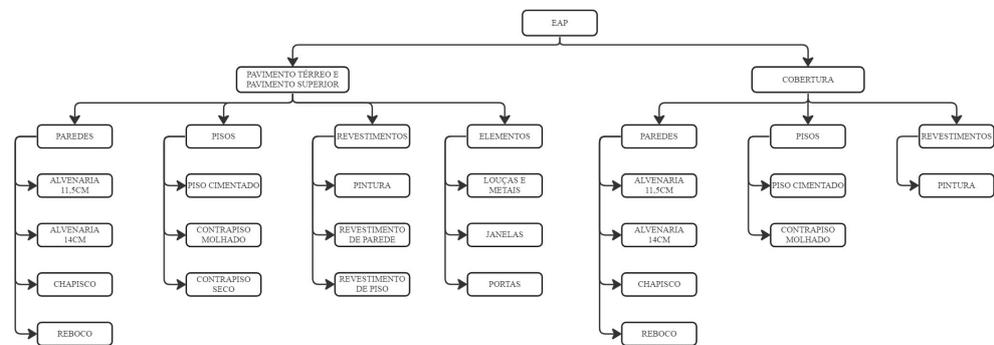


## 4. Resultados

### 4.1. Montagem da EAP de arquitetura

A EAP foi dividida por pavimento da edificação, os quais são: Pavimento Térreo, Pavimento Superior e Cobertura. A Figura 2 contém a EAP criada para a arquitetura da edificação.

**Figura 2**  
Estrutura analítica de projetos.



### 4.1.1. Requisitos de modelagem

Para uma padronização das modelagens realizadas, e utilizando como base os requisitos colocados por Oliveira *et al.* [4], foram criados os requisitos de modelagem para o projeto do grupo BIM Colaborativo. Os requisitos estão apresentados abaixo.

- Padronizar nomenclatura de famílias e materiais e mantê-las ao longo das revisões, salvo alteração de especificação técnica. Atentar para a manutenção de letras maiúsculas e minúsculas para que não haja perda de vínculos das composições com os itens do orçamento;
- Separar famílias de paredes distintas para os diferentes tipos de alvenaria existentes;
- Alvenaria deve descontar os elementos estruturais para evitar quantidades superestimadas;
- Separar o contrapiso de áreas molhadas de áreas secas e áreas molháveis, para a quantificação correta da impermeabilização das áreas molhadas e molháveis;
- Componentes vinculados ao mesmo nível, sem deslocamento nos objetos;
- Esquadrias devem possuir os parâmetros de comprimento, largura e possibilitar a contagem de unidades;
- Louças, metais e luminárias devem possuir nomes padronizados. Definir se esses itens serão modelados na arquitetura ou apenas no modelo de instalações. Compatibilizar as informações com a equipe de instalações. Parâmetro de extração: Unidade;
- Separar chapisco e reboco de externo e interno para que apareçam separadamente no orçamento e planejamento. Parâmetro de extração: Área;
- Paredes compostas tipo 'cebola' ou 'camada', devem conter as camadas que compõem a parede completa. Exemplo: Pintura interna + reboco interno + chapisco + bloco cerâmico + chapisco + reboco externo + pintura externa. Parâmetro de extração: Área lateral;
- Pisos devem possuir camadas separadas. Exemplo: contrapiso + revestimento. Parâmetro de extração: Área de superfície;
- Revestimentos com especificações, paginação ou localização diferentes devem ser modelados com nomes diferentes para serem quantificados separadamente. Exemplo: Revestimento tipo "A" x Revestimento tipo "B" e Revestimento cozinha x Revestimento banheiro. Parâmetro de extração: Área de superfície.

### 4.2. Verificação e análise da modelagem para extração de quantitativos

O início da verificação das modelagens foi a partir da realização do teste piloto. O ambiente escolhido foi o lavabo do pavimento térreo. Dessa forma, duas modelagens foram realizadas nesta etapa: uma proveniente do Revit e outra do Archicad. O modelo proveniente do Revit foi testado nas extensões de arquivo .ifc e .rvt

enquanto que o modelo do Archicad foi testado somente em .ifc. No entanto, em ambos os modelos de extensão .ifc testados foi identificado que vários itens tiveram suas categorias trocadas. Tais itens foram movidos de suas categorias originais para as de “Modelo Genérico”. A extração de quantitativos ocorreu somente por meio do programa OrçaBIM, pois este, na época da análise, ainda era o único programa que o grupo tinha disponível para uso. Sendo assim, foi identificado uma precisão quase que absoluta na comparação entre os modelos Revit .rvt e Revit .ifc. Apenas as áreas de forro e pintura apresentaram alguma diferença em seus valores, como visto na Tabela 1. Contudo, o modelo .ifc do Archicad apresentou quantitativos de paredes e pintura muito discrepantes daqueles vistos nos outros arquivos. Sendo que, a pintura externa não foi capaz de ser identificada por meio dos filtros do OrçaBIM.

Tabela 1: Quantitativos do teste piloto

Etapa	Atividade	Revit .rvt	Revit .ifc	Archicad .ifc
Paredes	Alvenaria de 9cm	10,35m <sup>2</sup>	10,35m <sup>2</sup>	23,10m <sup>2</sup>
	Alvenaria 11,5cm	9,00m <sup>2</sup>	9,00m <sup>2</sup>	20,09m <sup>2</sup>
	Alvenaria 14cm	5,90m <sup>2</sup>	5,90m <sup>2</sup>	7,82m <sup>2</sup>
Pisos	Laje de Piso	5,20m <sup>2</sup>	5,20m <sup>2</sup>	5,17m <sup>2</sup>
	Laje da cobertura	5,20m <sup>2</sup>	5,20m <sup>2</sup>	-
Revestimentos	Pintura interna	23,73m <sup>2</sup>	23,96m <sup>2</sup>	12,38m <sup>2</sup>
	Pintura externa	28,97m <sup>2</sup>	29,08m <sup>2</sup>	-
	Forro de gesso	4,11m <sup>2</sup>	3,84m <sup>2</sup>	3,84m <sup>2</sup>
Elementos	Porta de madeira	1Un.	1Un.	1Un.
	Janela de alumínio	1Un.	1Un.	1Un.

A análise dos modelos completos foi feita com a execução conjunta do orçamento. Assim, à medida que o orçamento estava sendo realizado, divergências e ocorrências com os modelos foram sendo encontradas. Tais situações foram divididas em duas categorias: erros geométricos e erros paramétricos. Os erros geométricos estão relacionados à geometria dos objetos presentes no modelo. Dessa forma, foi possível identificar que as paredes e áreas de contrapiso molhado e seco da edificação foram modelados com espessuras e posições diferentes nos dois modelos do Revit. Nas Figuras 3 e 4, as diferenças existentes no pavimento térreo estão expostas por meio de imagens retiradas do OrçaBIM, e a mesma situação pôde ser verificada no QiVisus.

Figura 3

Paredes de alvenaria de 14cm do modelo Revit ‘Cebola’ do pavimento térreo (interface OrçaBIM).

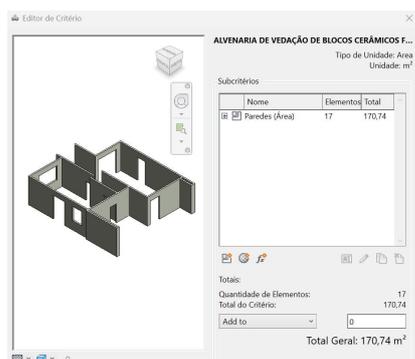
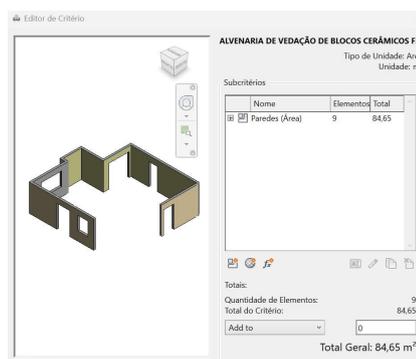
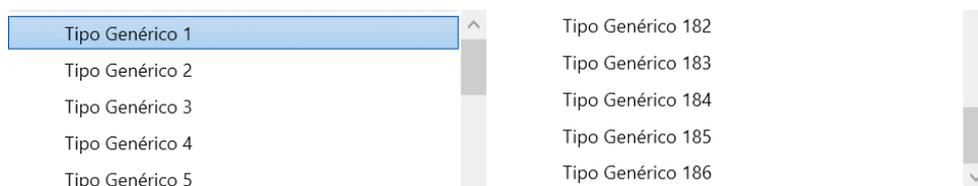


Figura 4

Paredes de alvenaria de 14cm do modelo Revit ‘Camada’ do pavimento térreo (interface OrçaBIM).



Em relação aos erros paramétricos, que são aqueles ligados às informações não gráficas dos elementos, a modelagem do Archicad foi a mais afetada nesta situação. Como ocorreu durante o teste, os objetos tiveram as suas nomenclaturas alteradas para “Tipo Genérico”, variando do número 1 ao 186, como mostrado nas Figuras 5 e 6.



**Figura 5**  
Lista de nomes genéricos do modelo Archicad parte 1 (interface OrçaBIM).

Outra situação que ocorreu durante a análise modelo Archicad, foi que os dois *softwares* de orçamentação utilizados não foram capazes de diferenciar as paredes de diferentes larguras e os contrapisos das áreas secas das áreas molhadas. Os programas foram capazes de detectar somente as paredes e contrapisos totais dos pavimentos. No entanto, tal situação ocorreu pela perda das informações que deveriam acompanhar estes objetos e não estavam mais presentes. Para certificar esta situação, através da extração de tabelas com as informações de área lateral, largura e comprimento das paredes, por meio do Revit, nenhum valor foi obtido, resultando em células vazias. Com uma análise mais aprofundada, o único tipo de informação relacionada às dimensões das paredes encontrada foi a área da base delas. Este problema está exemplificado na Figura 7. Isto mostra que o problema está na modelagem e não no funcionamento de algum dos programas

**Figura 6**  
Lista de nomes genéricos do modelo Archicad parte 2 (interface OrçaBIM).

<Tabela de parede>				
A	B	C	D	E
Tipo	Área	Comprimento	Largura	Área da Superfície
Tipo Genérico 13				1.45 m²
Tipo Genérico 14				0.68 m²
Tipo Genérico 15				0.51 m²
Tipo Genérico 16				0.35 m²
Tipo Genérico 17				0.94 m²
Tipo Genérico 18				0.66 m²
Tipo Genérico 19				0.89 m²
Tipo Genérico 20				0.06 m²
Tipo Genérico 21				0.46 m²
Tipo Genérico 22				0.44 m²
Tipo Genérico 23				0.16 m²
Tipo Genérico 24				0.43 m²
Tipo Genérico 25				0.40 m²
Tipo Genérico 26				0.25 m²
Tipo Genérico 27				0.56 m²
Tipo Genérico 28				0.16 m²
Tipo Genérico 29				0.56 m²
Tipo Genérico 30				0.44 m²
Tipo Genérico 31				0.26 m²
Tipo Genérico 32				0.57 m²
Tipo Genérico 33				1.72 m²
Tipo Genérico 34				0.95 m²
Tipo Genérico 35				0.46 m²

**Figura 7**  
Perda de informações no modelo Archicad.

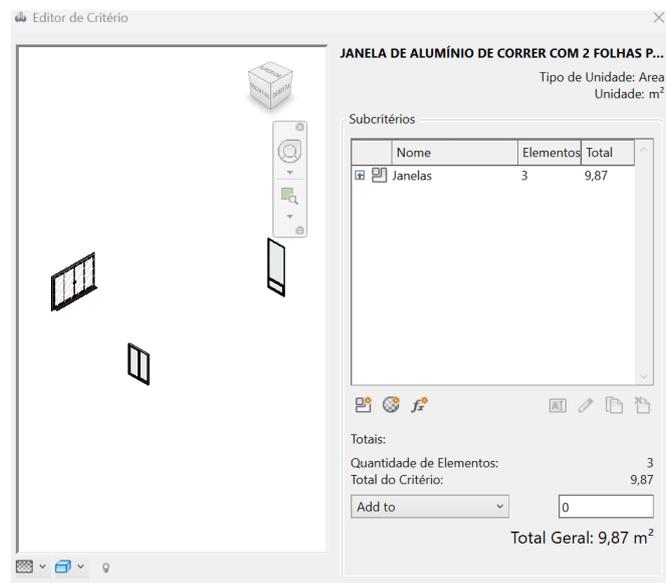
### 4.3. Extração de quantitativos da arquitetura

Durante o uso do OrçaBIM foram utilizados os arquivos do tipo .rvt dos modelos Revit ‘Camada’, Revit ‘Cebola’ e Archicad. No QiVisus, a extensão .ifc dos modelos Revit ‘Camada’, Revit ‘Cebola’ e Archicad foi utilizada. Ao decorrer do processo de extração

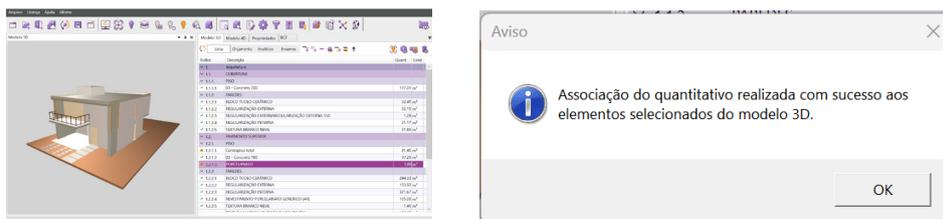
de quantitativos duas falhas nos programas de orçamentação aconteceram e estão apresentados abaixo.

- Na falha associada ao OrçaBIM, em um primeiro momento, no modelo Revit 'Camada' o *add-on* quantificou corretamente as janelas do pavimento térreo, como mostrado na Figura 8. Na sequência, no pavimento superior do mesmo modelo, utilizando os mesmos filtros de busca, o programa não foi capaz de encontrar as janelas e gerar uma visualização dos objetos desejados. Diferente do ocorrido com o modelo Revit 'Camada', ao se passar para os modelos Revit 'Cebola' e Archicad, o OrçaBIM não foi capaz de identificar as janelas de nenhum dos pavimentos da edificação.

**Figura 8**  
Janelas do modelo Revit 'Camada' do pavimento térreo no OrçaBIM.



- A falha associada ao QiVisus ocorreu durante a associação dos objetos selecionados de porcelanato no modelo Archicad a uma linha da lista de materiais do orçamento. Após a seleção de todos os objetos que deveriam fazer parte deste quantitativo, ao se clicar no botão "Associa os elementos selecionados no modelo 3D ao quantitativo", uma mensagem de que os objetos selecionados foram associados ao quantitativo aparece, como mostrado na Figura 10. Contudo, o quantitativo do item não se alterou e permaneceu como "1m<sup>2</sup>", que é o valor quantitativos, como exposto na Figura 9. Dessa forma, a quantidade do material não pôde ser extraída.



**Figura 9**  
Falha na associação de itens do modelo 3D ao quantitativo no QiVisus.

**Figura 10**  
Mensagem de sucesso do QiVisus.

Contudo, ao se analisar a Figura 11, foi possível perceber que existem diferenças de quantitativos ao se comparar os modelos estudados. Como colocado na seção 4.2.1, existem diferenças entre as modelagens que tornam esta comparação injusta, já que sem uma readequação dos modelos tais números não serão iguais. Porém, ao se analisar o mesmo modelo nos dois softwares de orçamentação diferentes, é encontrado em sua maioria, resultados semelhantes entre os modelos. Retirando da comparação os itens que foram alvo de algum problema de leitura ou bug relacionado aos próprios softwares, existe uma precisão na leitura dos dados, principalmente nos modelos Revit ‘Camada’ e Revit ‘Cebola’.

### 5. Conclusões

Etapa	Atividade	OrçaBIM			QiVisus			
		Archicad	Revit Cebola	Revit Camada	Archicad	Revit Cebola	Revit Camada	
Prim eiro Superior	Paredes	Alvenaria 11,5 cm	24,40m <sup>2</sup>	39,58m <sup>2</sup>	123,43m <sup>2</sup>	211,60m <sup>2</sup>	39,56m <sup>2</sup>	123,47m <sup>2</sup>
		Alvenaria 14 cm	-	170,74m <sup>2</sup>	84,65m <sup>2</sup>	-	170,66m <sup>2</sup>	84,70m <sup>2</sup>
		Chapisco	-	148,23m <sup>2</sup>	120,68m <sup>2</sup>	-	148,25m <sup>2</sup>	120,75m <sup>2</sup>
		Reboco	289,18m <sup>2</sup>	263,81m <sup>2</sup>	416,04m <sup>2</sup>	377,08m <sup>2</sup>	263,81m <sup>2</sup>	416,32m <sup>2</sup>
	Pisos	Piso cimentado	122,20m <sup>2</sup>	34,68m <sup>2</sup>	81,80m <sup>2</sup>	-	-	-
		Contrapiso seco	218,19m <sup>2</sup>	48,91m <sup>2</sup>	52,66m <sup>2</sup>	107,50m <sup>2</sup>	48,85m <sup>2</sup>	47,76m <sup>2</sup>
		Contrapiso molhado	-	26,74m <sup>2</sup>	20,60m <sup>2</sup>	-	26,75m <sup>2</sup>	37,67m <sup>2</sup>
	Revestimentos	Pintura	110,02m <sup>2</sup>	116,13m <sup>2</sup>	153,73m <sup>2</sup>	109,01m <sup>2</sup>	-	-
		Revestimento parede	163,12m <sup>2</sup>	115,86m <sup>2</sup>	105,67m <sup>2</sup>	85,26m <sup>2</sup>	115,84m <sup>2</sup>	105,75m <sup>2</sup>
		Revestimento pisos	215,64m <sup>2</sup>	26,74m <sup>2</sup>	73,25m <sup>2</sup>	-	-	73,28m <sup>2</sup>
	Elementos	Porta de madeira	8Un	8Un	8Un	8Un	8Un	8Un
		Janela de alumínio	-	-	9,87m <sup>2</sup>	8,58m <sup>2</sup>	9,25m <sup>2</sup>	9,22m <sup>2</sup>
Prim eiro Superior	Paredes	Alvenaria 11,5 cm	19,29m <sup>2</sup>	59,61m <sup>2</sup>	143,79m <sup>2</sup>	244,33m <sup>2</sup>	59,58m <sup>2</sup>	143,81m <sup>2</sup>
		Alvenaria 14 cm	-	191,85m <sup>2</sup>	93,78m <sup>2</sup>	-	192,03m <sup>2</sup>	93,74m <sup>2</sup>
		Chapisco	-	126,31m <sup>2</sup>	122,73m <sup>2</sup>	-	126,32m <sup>2</sup>	122,69m <sup>2</sup>
		Reboco	329,27m <sup>2</sup>	371,26m <sup>2</sup>	475,04m <sup>2</sup>	455,59m <sup>2</sup>	371,22m <sup>2</sup>	475,09m <sup>2</sup>
	Pisos	Piso cimentado	208,24	84,15m <sup>2</sup>	81,76m <sup>2</sup>	97,29m <sup>2</sup>	-	-
		Contrapiso seco	162,61	55,88m <sup>2</sup>	54,51m <sup>2</sup>	81,45m <sup>2</sup>	55,87m <sup>2</sup>	54,52m <sup>2</sup>
		Contrapiso molhado	-	28,28m <sup>2</sup>	27,25m <sup>2</sup>	-	28,30m <sup>2</sup>	27,22m <sup>2</sup>
	Revestimentos	Pintura	135,16	245,60m <sup>2</sup>	341,32m <sup>2</sup>	134,10m <sup>2</sup>	-	-
		Revestimento parede	198,99	81,13m <sup>2</sup>	82,03m <sup>2</sup>	105,08m <sup>2</sup>	81,18m <sup>2</sup>	82,15m <sup>2</sup>
		Revestimento pisos	159,52	14,16m <sup>2</sup>	81,76m <sup>2</sup>	-	-	81,74m <sup>2</sup>
	Elementos	Porta de madeira	7Un	7Un	7Un	7Un	7Un	7Un
		Janela de alumínio	-	-	-	23,07m <sup>2</sup>	23,02m <sup>2</sup>	23,02m <sup>2</sup>
Cobertura	Paredes	Alvenaria 11,5 cm	11,87m <sup>2</sup>	18,88m <sup>2</sup>	27,80m <sup>2</sup>	32,41m <sup>2</sup>	18,90m <sup>2</sup>	27,73m <sup>2</sup>
		Alvenaria 14 cm	-	1,88m <sup>2</sup>	-	-	1,88m <sup>2</sup>	-
		Chapisco	-	-	27,80m <sup>2</sup>	-	-	27,73m <sup>2</sup>
		Reboco	43,34m <sup>2</sup>	-	55,59m <sup>2</sup>	52,18m <sup>2</sup>	-	55,46m <sup>2</sup>
	Pisos	Piso cimentado	263,66m <sup>2</sup>	117,56m <sup>2</sup>	117,56m <sup>2</sup>	127,01m <sup>2</sup>	117,56m <sup>2</sup>	117,56m <sup>2</sup>
Contrapiso molhado	115,66m <sup>2</sup>	177,56m <sup>2</sup>	177,56m <sup>2</sup>	115,22m <sup>2</sup>	117,56m <sup>2</sup>	177,56m <sup>2</sup>		

**Figura 11**  
Tabela com os quantitativos extraídos dos modelos.

Após a análise dos resultados e aplicação dos conceitos BIM, ficou evidente a importância da participação e colaboração dos diversos profissionais durante todo o processo BIM. Mesmo com a conjunta montagem da EAP e dos requisitos de modelagem, aconteceram situações que tornaram a quantificação lenta ou incapaz de ser concluída. Neste sentido, a principal situação observada foi com a modelagem 3D que, devido às divergências existentes entre elas, evidenciou a necessidade de melhorar o entendimento de como as informações devem ser inseridas e exportadas dos modelos BIM nos *softwares* envolvidos. Acredita-se que essa situação está relacionada ao nível de maturidade BIM da equipe. Contudo, como os modelos de arquitetura ainda serão compatibilizados com modelos de estrutura e instalações, a devida atenção aos aspectos não gráficos dos modelos deve ser dada.

Além disso, a perda de informações dos modelos levou a escolha de se realizar a extração de quantitativos por meio do OrçaBIM utilizando arquivos com extensões no formato .rvt. Tal acontecimento, está ligado a falta de interoperabilidade total entre os arquivos e *softwares*. Porém, a não utilização dos arquivos IFC nessa situação foge dos padrões do OpenBIM, por se estar utilizando um formato de arquivo que possui proprietário.

Por sua vez, os quantitativos, mesmo que ainda reflitam os problemas encontrados, trouxeram informações importantes para o grupo. Em sua maioria, os valores obtidos foram próximos ao se comparar os valores do mesmo modelo em ambos os programas mas, ao se comparar as quantidades entre os diferentes modelos, por causa das diferenças apresentadas entre eles, os números não foram próximos.

A partir de toda a experiência obtida neste projeto, alguns pontos importantes para o trabalho do orçamentista associado ao BIM puderam ser levantados, com o intuito de contribuir para futuros projetos. Dentre eles, cabe citar: (1)A importância de participar ativamente nas etapas que antecedem ao orçamento; (2)Fazer uma verificação visual dos modelos na busca de erros de modelagem; (3)Análise da nomenclatura de famílias e objetos para evitar dúvidas e erros; (4)Certificar que o modelo contém as informações necessárias para a orçamentação e que os requisitos da EAP e de modelagem foram seguidos; (5)Verificar se os quantitativos extraídos estão com suas unidades de medida e parâmetros corretos; (6)Entender as limitações dos *softwares*. Sugere-se testar em trabalhos futuros diferentes formatos de exportação modelos, variando inclusive configurações do próprio ifc para identificar o mais adequado, o que não foi possível neste trabalho por limitação de tempo. Em conclusão, os objetivos deste artigo foram atingidos e as lições aprendidas com ele deverão ser implementadas para as próximas fases do projeto do grupo BIM Colaborativo.

## Referências

- [1] L. Shenya, Y. Yingxia. “Application of BIM Technology in Calculation of a Residential Building”. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences* (2019), Jilin, China, 2019. pp. 1-9. doi:10.1088/1755-1315/330/022071.

- [2] M.C.B. Costa, C.A.D. Nascimento, F. Abdollahyan, R.M. Pontes, *Gerenciamento de custos em projetos*. Rio de Janeiro, Brasil.: 6 ed. Editora FGV,2019.
- [3] C. M. Eastman, R. Sacks, K. Liston, P. Teicholz, L. Ghang, E.T. Santos, S.Scheer, *Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, gerentes, Construtores e Incorporadores*. Porto alegre, Brasil. 3 ed. Bookman, 2021.
- [4] R. B. De Oliveira, L. G. Araújo, M. T. M. Carvalho, R. N. Blumenschein “Critérios básicos de modelagem para orçamentação em BIM de um projeto arquitetônico”. *Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção (2021)*, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil,2019. pp. 1-9. doi:10.46421/sbtic.v3i00.612.



# Caracterização de metodologias para extração de quantitativos com foco no orçamento de projetos em BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.48>

**Glauber Moreira<sup>1</sup>, Michele Carvalho<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidade de Brasília, Brasília, 0009-0007-5410-9350

<sup>2</sup> Universidade de Brasília, Brasília, 0000-0001-7969-9341

## Resumo

O processo de orçamentação, tanto no âmbito do BIM quanto no contexto tradicional, demanda automatização de fluxos de trabalho primordialmente ligados à etapa de consolidação de quantitativos, devido ao seu papel determinante no nível de precisão do orçamento. A literatura internacional indica diretrizes ligadas à interoperabilidade como caminho para a automatização de tal etapa. Portanto, o estudo busca caracterizar metodologias de extração de quantitativos para orçamento de projetos em BIM à luz das recomendações científicas, considerando problemas de interoperabilidade. A abordagem metodológica contou com três etapas. A primeira consistiu em busca de publicações focadas no desenvolvimento de metodologias para extração de quantitativos de projetos em BIM. A segunda etapa buscou caracterizar os estudos em função de critérios ligados à interoperabilidade tais como a perda de informação e método de intercâmbio de dados, além de classificar as metodologias em função de atributos do orçamento. A terceira etapa realizou agrupamento das metodologias pelo método estatístico *k-means* e realizou associações entre as características encontradas. Os resultados indicaram baixa aderência das metodologias com relação às principais diretrizes para automatização da orçamentação por problemas ligados à necessidade de preparação prévia dos modelos e pouca associação dos projetos a bancos de dados, apesar das estratégias buscarem alternativas para os principais gargalos do processo de orçamentação de projetos em BIM.

## 1. Introdução

O processo de orçamentação, tanto no cenário do BIM quanto no contexto tradicional, demanda automatização de fluxos de trabalho em sua etapa principal, referente à consolidação dos quantitativos do projeto, conforme [1] e [2]. Tal etapa onera tempo e esforço da equipe [3], contém etapas tradicionalmente manuais [4] e figura entre as motivações para o retrabalho [5] devido à dificuldade de gerenciamento/manipulação dos dados por excesso de informação [6] e/ou falta de ferramentas práticas para extração destes quantitativos [7].

Os trabalhos de [8] e [9] indicam ainda que a modelagem do projeto configura em obstáculo para a extração automatizada de quantitativos, principalmente se não estiver de acordo com as informações requeridas pelo nível de precisão do orçamento [5] (ou grau de detalhe, segundo [2]) além de demais atributos da estimativa de custos, tais como a integração com ciclo de vida dos custos (LCC – *life cycle costs*) e eficiência, conforme [3] e [10].

A literatura internacional consolidada através de [11], propõe diretrizes para a implementação do BIM no suporte ao levantamento de quantitativos, tais como: necessidade de estabelecer limites explícitos para o nível de desenvolvimento ou *Level of Development* (LOD) dos modelos a partir do objetivo de cada orçamento além da padronização de informações para otimizar a precisão dos quantitativos. O referido estudo permite concluir que as diretrizes buscam essencialmente solucionar problemas ligados à interoperabilidade, análogos à perda de dados, variedade de métodos para extração de informações, problemas de tradução e barreiras proprietárias de linguagens de dados, como indicado por [12].

Os estudos de [4], [13] e [14] indicam que as estratégias atuais ainda se encontram aquém do que se espera da automatização da orçamentação em BIM, sendo ainda necessária intervenção do orçamentista na inferência de métodos construtivos, itens de trabalho e critérios de medição dos serviços conforme bases de custos referenciais.

Portanto, o foco deste estudo é caracterizar metodologias para a extração de quantitativos de projetos em BIM com foco no processo de orçamento, discutindo o panorama da automatização do orçamento em BIM à luz das recomendações da literatura científica internacional, sedimentadas pelas diretrizes de [11].

## 2. Metodologia

A metodologia adotada se dividiu em três etapas: a inicial consistiu em busca sistemática na literatura. A segunda, caracterizou os estudos encontrados quanto a atributos do orçamento e a problemas de interoperabilidade. Já terceira etapa, sistematizou análise para a correlação entre os atributos e características dos estudos com base nas diretrizes de [11].

Para a primeira etapa, a busca se deu por meio de duas *strings*: (*bim -AND- quantity take off -AND- costs*) e (*bim -AND- quantity surveying -AND- costs*). Foram adotadas duas bases de dados (*Web of Science* e *Scopus*), sem filtragem de período, selecionando artigos de periódicos, revisões e publicações de conferência. Após a remoção de duplicatas, foi realizada a leitura de títulos e resumos para seleção dos métodos de extração de quantitativos a serem caracterizados.

Na segunda etapa, a caracterização das metodologias selecionadas partiu de matriz estruturada em oito critérios separados em dois blocos de análise, conforme a Tabela 1. Os blocos e critérios foram selecionados considerando que as diretrizes sinalizadas por [11], para automatização da orçamentação em BIM, têm relação com dificuldades relativas à troca de informação, ou seja, à interoperabilidade.

Portanto, os critérios motivaram perguntas-chave para caracterizar as metodologias de forma objetiva e binária (respostas de “sim” ou “não”), detalhadas pela Tabela 1.

Tabela 1: Blocos de análise e critérios da matriz de caracterização.

Bloco de análise	Critério de caracterização	Pergunta-Chave
Bloco 01: perda de dados	Omissões	“O procedimento verificou alguma omissão de quantitativos?”
	Erros	“Houve erros na extração de quantitativos de intersecções do modelo ou decorrentes de incompatibilidades de projeto?”
	Preparação de modelo	“Foi necessário adaptar ou preparar o modelo para a extração?”
Bloco 02: extração de dados	Método direto	“Utilizou método de transferência de dados por meio de alguma API?”
	Método indireto	“Utilizou método de transferência de dados indiretos (arquivo/arquivo ou arquivo/CDE ou arquivo/banco de dados)?”
	Modelo de linguagem proprietário	“Utilizou alguma linguagem de modelagem patenteada por algum software?”
	Modelo de linguagem aberto	“Utilizou alguma linguagem de modelagem com código aberto?”
	Modelo de linguagem misto	“Houve alguma integração de métodos diretos e indiretos para extrair quantitativos?”

A segunda etapa ainda classificou as metodologias conforme atributos ligados à estimativa de custos: grau de detalhe do orçamento [2] e validação da eficiência [3], conforme a Tabela 2. A classificação parte da premissa de que as diretrizes de [11] recomendam vinculação entre características do orçamento e modelagem para automatização do fluxo de trabalho no 5D.

Tabela 2: Classificação de atributos das metodologias quanto à estimativa de custos.

Atributos da estimativa de custos	Classificação utilizada
Grau de detalhe do orçamento	Estimativa de custos Orçamento preliminar Orçamento executivo Não informa
Eficiência	Comparação com orçamento real Comparação com quantidades reais Tempo de elaboração do orçamento Eficiência parametrizada por indicadores (m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> , etc.) Não informa

A terceira etapa agrupou as metodologias encontradas com base nas respostas das perguntas-chave da Tabela 1, admitindo para a resposta “sim”, o valor 1 e, para “não”, o valor 0. Posteriormente, foi realizada análise dos atributos comuns a cada agrupamento, baseada nas classificações da Tabela 2.

Para o agrupamento das metodologias, utilizou-se a linguagem de programação em R, por meio da técnica *k-means* [15]. A técnica escolhida consiste em definir número ótimo de agrupamentos (ou *clusters*) e segmentar os dados que têm valor estatisticamente relacionado.

O número ótimo de *clusters* foi encontrado a partir do método *Elbow* [15], que determina graficamente, através do “fenômeno do cotovelo”, a quantidade de agrupamentos ideal, com base nos valores de *k-means*. Toda a formulação matemática utilizada se deu com auxílio dos pacotes “*FactoMineR*”, “*factoextra*” e “*cluster*” da biblioteca aberta *RStudio*.

### 3. Discussão e resultados

A metodologia de busca obteve 212 publicações. Após a exclusão de duplicatas, 67 estudos foram classificados para de leitura de títulos e resumos, contudo, apenas 13 publicações se mostraram coerentes com a inovação de metodologias e/ou processos estruturados para a extração de quantitativos focados no orçamento de projetos em BIM.

Dentre as publicações selecionadas, ainda se levou em conta as que realizaram comparativos entre métodos de extração. Cabe informar que, por adesão ao escopo, através de pesquisa em referências dos documentos aderidos, houve a inclusão dos estudos de [16], [17] e [18]. As metodologias identificadas estão sumarizadas a seguir:

- Os estudos de [4] e [19] propuseram processo ontológico de inferência para determinar itens de trabalho e demais especificações determinantes do orçamento com base em regras de raciocínio semântico. O método diminuiu a

subjetividade do orçamentista por utilizar base de dados do BIM a partir dos modelos de linguagem IFCxml e RDF.

- [20] sugeriu a extração de quantitativos através da modelagem de protótipo baseado no formato IFC para melhoria da confiabilidade da estimativa de custos a partir da análise do nível de detalhamento, elaboração de modelo em Revit e posterior exportação para IFC com objetivo de extrair quantitativos, checagem do modelo e extração. Não houve estudo de caso ou validação da eficiência do procedimento.
- [17] desenvolveu API para consulta de posições e geometria de modelos em BIM desenhando fronteiras externas dos elementos em CAD para cálculo de área, volume e demais dimensões de elementos estruturais e de tubulações através de consulta em banco de dados da Microsoft Access. A validação do método seu deu pela comparação com quantitativos conhecidos de um projeto real.
- [6] realizou o comparativo entre métodos tradicionais de extração de quantitativos manuais (empíricos e baseado em desenhos) e procedimento baseado em softwares BIM a partir de estudo de caso de edificação real. A metodologia permitiu evidenciar melhor eficiência da extração de quantitativos baseada na tecnologia BIM.
- [10] propôs fluxo de trabalho utilizando o software CostX da Exacta, adaptando-o para análises de ciclo de vida dos custos. O método de avaliação se deu através da usabilidade (atendimento ou não de tarefas) com intuito de verificar se o uso de tecnologias de orçamento já existentes atende o requerido para análises de ciclo de vida.
- [18] propôs rotina de cálculo de formas para concreto utilizando programação visual através do Dynamo integrado ao Revit, valendo-se de regras para a filtragem e classificação de superfícies evitando sobreposições de elementos que pudessem acarretar erros na quantificação de áreas. A validação da metodologia se deu através da comparação das áreas extraídas com quantidades selecionadas manualmente via Sketchup.
- [21] propôs fluxo de trabalho em BIM para cálculo de quantidades de membros estruturais baseados nas regras do Código Chinês. Houve desenvolvimento de algoritmo que traduz regras de geometria do Revit conforme o referido código. O algoritmo revisa as quantidades calculadas em aberturas e juntas. A validação do método se deu a partir da comparação de quantidades calculadas manualmente e os outputs do algoritmo.
- [22] criou plataforma utilizando ASP.NET e C# para automatizar fluxo de cálculos de quantitativos para orçamento de superestrutura e infraestrutura de edifícios em concreto. A interface foi desenvolvida em API da web e deixou a cargo do orçamentista a entrada de dados para devolver a estimativa de custo, economizando tempo e aumentando acurácia do orçamento obtido em contraste com processos tradicionais (Excel).
- [23] propôs algoritmo que utiliza modelagem semântica e processamento de linguagem natural para identificar e classificar instâncias de informações de projetos que correspondem às especificações para o orçamento. O método

de avaliação foi por comparação entre informações lidas e tempo gasto em relação a padrão manual adotado.

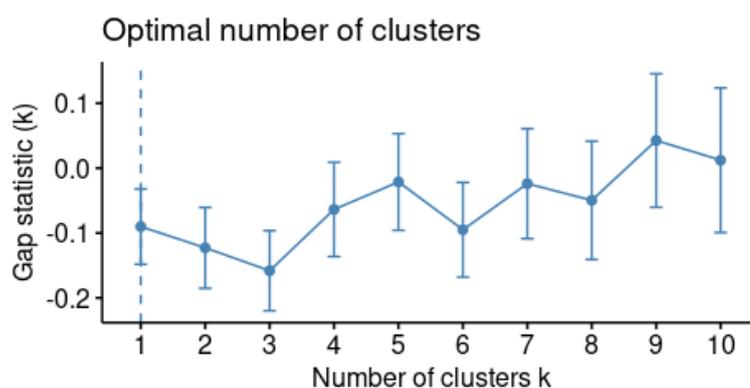
- [24] propôs fluxos de trabalho em BIM para estimativa de quantitativos de projetos de terraplanagem utilizando 3 técnicas de fotogrametria aérea não tripulada e comparou com o processo tradicional de estimativa de quantidades baseado no Sistema GNSS. O método de comparação se deu através dos volumes e áreas calculados pelo Autodesk Civil 3D e os resultados obtidos pelas 3 técnicas.
- [25] propôs processo de extração de quantitativos que envolve a modelagem do conhecimento, regras de medição e informações necessárias para checagem semântica do modelo BIM em conjunto com algoritmos para cálculo automático de quantitativos em conformidade com as regras do Hong Kong Standard Method of Measurement 4.
- [26] propôs API que automatiza a extração de propriedades dos elementos de um modelo BIM e armazena a informação em um banco de dados que estrutura tabelas de propriedades para consulta de informação permitindo o cálculo da quantidade real cada elemento modelado nos softwares Revit e Tekla.
- [27] utiliza varreduras a laser terrestre (TLS) para escanear o edifício e, em seguida, cria um modelo em BIM para posterior extração de quantitativos de materiais e mão de obra necessários para serviços de manutenção do edifício. A validação da eficiência foi por comparação entre quantidades obtidas e tempo de extração pelo método manual e pelo método Scan-to-BIM.
- [28] utiliza assinaturas invariantes para classificar objetos em modelos BIM e extrair quantitativos automaticamente a partir de aprendizado de máquina que classifica os objetos em categorias relevantes. As assinaturas definidas são metadados dos objetos que não mudam com a escala, rotação ou posição.
- [16] propôs matriz de parâmetros de uma EAP padronizada, a partir de banco de dados de projetos e orçamentos, para a criação de filtros para extração de quantitativos utilizando o Revit. A avaliação de eficiência do método se deu por comparação entre o tempo de extração de quantitativos manualmente e com o método proposto.

Em conjunto com a leitura das publicações, foram consolidadas as respostas das perguntas-chave da Tabela 1 na matriz de caracterização, detalhada na Tabela 3.

Tabela 3: Matriz de caracterização.

Referência dos estudos	Bloco 01 - perda de dados			Bloco 02 - extração de dados				
	Omissões	Erros	Preparação do modelo	Método direto	Método indireto	Modelo de linguagem proprietário	Modelo de linguagem aberto	Modelo de linguagem misto
[4] e [19]	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	NÃO
[6]	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM
[10]	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
[25]	SIM	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM
[16]	NÃO	NÃO	SIM	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
[17]	NÃO	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	NÃO	SIM
[18]	NÃO	NÃO	SIM	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
[28]	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	NÃO
[26]	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	NÃO	NÃO
[27]	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM
[23]	SIM	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	NÃO
[24]	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	SIM	NÃO	NÃO
[22]	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM
[21]	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
[20]	NÃO	NÃO	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	SIM
<b>Totais de "NÃO"</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>Totais de "SIM"</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>6</b>

Os dados da Tabela 3 convertidos em 0 e 1, permitiram determinar, pelo método *Elbow*, a quantidade ótima de 3 *clusters*, conforme a Figura 1.

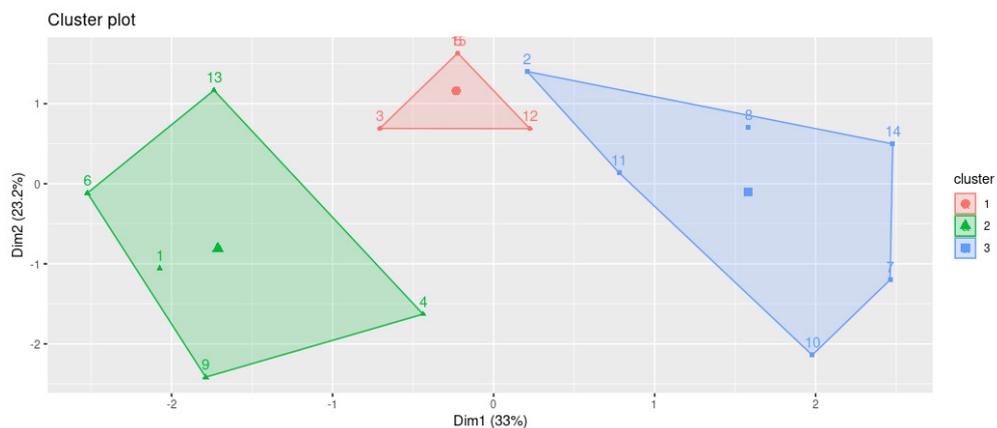


**Figura 1**  
Número ótimo de clusters pelo método *Elbow*,  $k=3$ .

Portanto, a partição dos dados através do método *k-means*, se deu a partir de 3 *clusters*, onde cada numeração nos vértices dos polígonos corresponde a uma metodologia da matriz de caracterização, conforme a Figura 2.

**Figura 2**

Clusters das metodologias de extração de quantitativos para orçamento em BIM.



A relação entre os números nos vértices dos *clusters* e as metodologias está detalhada na Tabela 4, a qual relaciona, por *cluster* (vermelho - 1, verde - 2 e azul - 3), a referência das publicações da matriz de caracterização (Tabela 3) com o grau de detalhe e eficiência dos orçamentos.

Tabela 4: Resumo dos agrupamentos e classificações.

Numeração da Figura 2	Numeração cluster da Figura 2	Referência do estudo na matriz	Grau de detalhe do orçamento	Eficiência
3	1	[10]	Não informa	Eficiência parametrizada por indicadores (m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> , etc)
5		[16]	Orçamento executivo	Tempo de elaboração do orçamento
12		[21]	Não informa	Comparação com quantidades reais
15		[18]	Não informa	Comparação com quantidades reais
1	2	[4] e [19]	Não informa	Eficiência parametrizada por indicadores (m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> , etc)
4		[25]	Não informa	Comparação com quantidades reais
6		[28]	Não informa	Comparação com quantidades reais
9		[23]	Orçamento executivo	mais de um método (tempo e quantidades)
13		[20]	Não informa	Não informa
2	3	[6]	Não informa	Comparação com quantidades reais
7		[26]	Não informa	Comparação com quantidades reais
8		[27]	Não informa	mais de um método (tempo e quantidades)
10		[24]	Não informa	Comparação com quantidades reais
11		[22]	Orçamento executivo	mais de um método (tempo e quantidades)
14		[17]	Não informa	Comparação com quantidades reais

A Tabela 3, mostra, pelo bloco 01 (perda de dados), que a maioria das metodologias ainda não apura erros na extração de quantitativos decorrentes de incompatibilidades de projeto além de não serem capazes de verificar omissões de quantitativos após a extração. Ainda é percebida a usual necessidade de preparações prévias dos modelos antes de realizar a extração dos quantitativos.

Já em relação ao bloco O2 (métodos de extrações de dados), notam-se usuais modelos de linguagem proprietários (11 de 15 metodologias). Por outro lado, as publicações que utilizam linguagens abertas, ainda que de maneira mista, são mais recentes, demonstrando tendência aos benefícios da interoperabilidade aberta para a estabilização dos fluxos de trabalho na extração de quantitativos, conforme a expectativa das diretrizes de [11].

A partir da análise dos *clusters* gerados pelo *k-means*, na Tabela 4, ainda não há associação evidente dos quantitativos obtidos pelas metodologias de extração com o grau de detalhamento requerido pelos orçamentos, enfatizada pelas diretrizes de [11]. Pela análise da eficiência, foi possível verificar que o principal parâmetro de validação é o tempo gasto na elaboração do orçamento bem como a precisão dos quantitativos obtidos. Contudo, os 3 agrupamentos encontrados não possibilitaram traçar perfil específico de cada *cluster*, provavelmente pela baixa quantidade de publicações encontradas.

Considerando ainda o estudo realizado por meio da leitura das publicações, nota-se que apesar da falta de vínculo entre as metodologias e o objetivo do orçamento [11], as inovações para extração de quantitativos focam principalmente na mitigação do que onera a equipe de orçamento: retrabalho [5], tempo e esforço gasto pela equipe [3]. Além disso, os métodos buscam contornar a falta de ferramentas práticas [7] e esbarram em questões ligadas à tradução da linguagem de dados para extração eficiente de quantitativos no ambiente BIM.

## 4. Conclusões

A caracterização dos métodos de extração de quantitativos para orçamento de projetos em BIM indicou que as inovações para o processo ainda não são capazes atender por completo as principais diretrizes [11] para a estabilização dos fluxos de trabalho com o orçamento, devido a problemas essencialmente ligados ao intercâmbio de informações, ou seja, à interoperabilidade. Dentre os entraves verificados, destaca-se a necessidade de preparação prévia dos modelos e baixa associação de modelos dos projetos a bancos de dados (métodos indiretos).

A caracterização ainda revela que os métodos ainda não são sensíveis a erros e omissões de quantitativos, o que pode comprometer a confiabilidade dos orçamentos gerados. Muito embora busquem solucionar os principais gargalos do processo de orçamentação [5], [3] e [7] por meio de avaliações de eficiência do orçamento, é evidente a falta de associação entre o objetivo dos orçamentos com as quantidades extraídas pelos métodos, recomendada nas diretrizes internacionais [11].

Por fim, em função da baixa quantidade de publicações e heterogeneidade dos *clusters* gerados, sugere-se o reagrupamento das metodologias por métodos apropriados a variáveis categóricas (*k-modes*) bem como a expansão da busca em mais bases de dados para melhores conclusões.

## Referências

- [1] F. F. Marchiori and M. T. M. Carvalho, *Conhecendo o orçamento de obras: como tornar seu orçamento mais real*, 1a Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.
- [2] A. D. Mattos, *Como preparar orçamentos de obras*, 3a Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.
- [3] Alzara M., Attia Y.A., Mahfouz S.Y., Yosri A.M, and Ehab A., "Building a genetic algorithm-based and BIM-based 5D time and cost optimization model," *IEEE Open Access*, 2023.
- [4] S. K. Lee, K. R. Kim, and J. H. Yu, "BIM and ontology-based approach for building cost estimation," *Autom Constr*, vol. 41, pp. 96-105, 2014, doi: 10.1016/j.aut-con.2013.10.020.
- [5] L. D. Trindade, "Modelagem da Informação da Construção (BIM) e orçamento evolutivo: contribuições para a automatização do levantamento de quantitativos em projeto," Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.
- [6] S.-W. Whang, "Building Information Modeling (BIM) for Project Value: Quantity Take-Off of Building Frame Approach," *International Journal of Applied Engineering Research*, 2016, doi: 10.13140/RG.2.1.4982.9366.
- [7] M. T. Clark, Alzraiee, and Hani S, "A FRAMEWORK FOR COST ESTIMATION USING BIM OBJECT PARAMETERS," in *CSCE Annual Conference*, 2019.
- [8] T. Moses, D. Heesom, and D. Oloke, "Implementing 5D BIM on construction projects: contractor perspectives from the UK construction sector," *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 18, no. 6, pp. 1867-1888, Oct. 2020, doi: 10.1108/JEDT-01-2020-0007.
- [9] M. I. Ghani, "4D/5D Building Information Modelling; How to create an integrated model," *POLITECNICO DI MILANO*, 2021.
- [10] D. Kehily and J. Underwood, "Embedding life cycle costing in 5D BIM," 2017. [Online]. Available: <http://www.itcon.org/2017/8>
- [11] R. Sacks, C. Eastman, P. Teicholz, and G. Lee, *Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores*, 3a edição. Editora Bookman, 2021.
- [12] G. Lee, "What Information Can or Cannot Be Exchanged?," *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2011, doi: 10.1061/ASCECP.1943-5487.0000062.

- [13] S. Aram, C. M. Eastman, and R. Sacks, "A knowledge-based framework for quantity takeoff and cost estimation in the AEC industry using BIM," in *31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining, ISARC 2014*, 2014. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/288591871>
- [14] S.-A. Kim, S. Chin, S.-W. Yoon, T.-H. Shin, Y.-S. Kim, and C. Choi, "Automated Building Information Modeling System for Building Interior to Improve Productivity of BIM-based Quantity Take-Off," in *Information and Computational Technology*, 2009.
- [15] B. Everitt and T. Hothorn, *An Introduction to Applied multivariate Analysis with R*. Springer Science & Business Media, 2011. doi: 10.1007/978-1-4419-9650-3.
- [16] R. L. dos Santos, C. R. Campelo Filho, and B. M. V. Valério, "Otimização da extração de quantitativos para orçamento de obras por meio de software BIM: uma proposta de matriz de parâmetros," *Gestão & Tecnologia de Projetos*, vol. 18, no. 1, pp. 151-172, Aug. 2023, doi: 10.11606/gtp.v18i1.204175.
- [17] H. Taghaddos, A. Mashayekhi, and B. Sherafat, "Automation of Construction Quantity Take-Off: Using Building Information Modeling (BIM)," in *Construction Research Congress ASCE*, 2016, pp. 2218-2227.
- [18] C. Khosakitchalert, N. Yabuki, and T. Fukuda, "Automatic Concrete Formwork Quantity Takeoff Using Building Information Modeling," in *Proceedings of the 19th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR2019)*, 2019. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/337286106>
- [19] S. Lee, K. Kim, and J. Yu, "Ontological inference of work item based on BIM data," *KSCCE Journal of Civil Engineering*, vol. 19, no. 3, pp. 538-549, Mar. 2015, doi: 10.1007/s12205-013-0739-5.
- [20] J. Choi, H. Kim, and I. Kim, "Open BIM-based quantity take-off system for schematic estimation of building frame in early design stage," *J Comput Des Eng*, vol. 2, no. 1, pp. 16-25, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.jcde.2014.11.002.
- [21] B. Yang, B. Zhang, J. Wu, B. Liu, and Z. Wang, "A BIM-based Quantity Calculation Framework for Frame-shear Wall Structure," *Structural Engineering International*, vol. 29, no. 2, pp. 282-291, Apr. 2019, doi: 10.1080/10168664.2018.1550352.
- [22] J. H. Yousif, S. N. Abdul Majeed, and F. J. I. Al Azzawi, "Web-based architecture for automating quantity surveying construction cost calculation," *Infrastructures (Basel)*, vol. 5, no. 6, Jun. 2020, doi: 10.3390/INFRASTRUCTURES5060045.
- [23] T. Akanbi and J. Zhang, "Design information extraction from construction specifications to support cost estimation," *Autom Constr*, vol. 131, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103835.

- [24] P. Kavaliauskas, D. Židanavičius, and A. Jurelionis, “Geometric accuracy of 3d reality mesh utilization for bim-based earthwork quantity estimation workflows,” *ISPRS Int J Geoinf*, vol. 10, no. 6, Jun. 2021, doi: 10.3390/ijgi10060399.
- [25] H. Liu, J. C. P. Cheng, V. J. L. Gan, and S. Zhou, “A knowledge model-based BIM framework for automatic code-compliant quantity take-off,” *Autom Constr*, vol. 133, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.autcon.2021.104024.
- [26] B. Sherafat, H. Taghaddos, and E. Shafaghat, “Enhanced automated quantity take-off in building information modeling,” *Scientia Iranica*, vol. 29, no. 3 A, pp. 1024-1037, May 2022, doi: 10.24200/SCI.2021.56668.4847.
- [27] M. C. P. Sing, S. Y. Y. Luk, K. H. C. Chan, H. J. Liu, and R. Humphrey, “Scan-to-BIM technique in building maintenance projects: practicing quantity take-off,” *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 2022, doi: 10.1108/IJBPA-06-2022-0097.
- [28] J. Wu, T. Akanbi, and J. Zhang, “Constructing Invariant Signatures for AEC Objects to Support BIM-Based Analysis Automation through Object Classification,” *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 36, no. 4, Jul. 2022, doi: 10.1061/(asce)cp.1943-5487.0001012.

# Processos sistemáticos de extração e de consolidação da informação de elementos em modelos BIM para parametrização de artigos ProNIC

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.49>

**Jorge Teixeira<sup>1,2</sup>, Yanh Ribeiro<sup>1,2</sup>, Luís Guardão<sup>3</sup>,  
Pedro Mêda<sup>1,2</sup>, Joaquim Moreira<sup>1,2</sup>,  
Rui Sousa<sup>1,2</sup>, Hipólito Sousa<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> GEQUALTEC – Instituto para a Construção Sustentável (ICS), Porto

<sup>2</sup> CONSTRUCT-GEQUALTEC – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

<sup>3</sup> CESE – INESC TEC – Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência, Porto

## Resumo

A interoperabilidade entre o ProNIC, uma plataforma pioneira na digitalização da informação na construção em Portugal, e as ferramentas BIM (*Building Information Modeling*) assenta na identificação e mapeamento de elementos de um modelo BIM para artigos normalizados da estrutura de desagregação de trabalhos do ProNIC.

Este mapeamento requer o conhecimento das estruturas de dados envolvidas e das características semânticas que possibilitam a relação entre elas, não sendo facilmente generalizáveis devido à sua distinta natureza (vista de elementos vs. vista de trabalhos) e multiplicidade de formas de especificação (elemento composto vs. lista de elementos simples).

Neste artigo, descreve-se o desenvolvimento de processos sistemáticos para analisar esses elementos, respetivas propriedades, e relações com outros elementos, com o objetivo de maximizar a informação fiável que é extraível do modelo, contemplando ainda os casos em que a informação disponível esteja incompleta ou omissa.

Esses processos foram implementados num protótipo capaz de analisar elementos construtivos de edifícios de diversos tipos, a partir de modelos no formato IFC4.3, e

extrair informações relevantes para os trabalhos de construção do ProNIC, de forma a simplificar e acelerar a criação do MQT (Mapa de Quantidades de Trabalhos) durante a fase de projeto de uma obra.

Por fim, identificam-se limitações desses processos sistemáticos e sugerem-se estratégias alternativas.

## 1. Introdução

Para promover a adoção da metodologia BIM (*Building Information Modeling*) e com o objetivo de agilizar a criação do Mapa de Quantidades de Trabalhos (MQT) de uma obra por parte da equipa de Projeto, foi desenvolvida recentemente, no contexto do Projeto Mobilizador REV@CONSTRUCTION, uma metodologia [1], [2] que permite extrair, analisar e converter informação contida num modelo BIM, em formato IFC (*Industry Foundation Class*) [3], [4], [5], para um MQT normalizado da plataforma ProNIC. Como prova de conceito dessa metodologia, foi também criado um protótipo [6] de um módulo informático, em linguagem Python, utilizando a biblioteca IFCOpenShell [7], de código aberto, gratuito.

Pretende-se agora melhorar essa metodologia, tornando-a mais sistemática e facilitando a sua aplicação a mais elementos IFC e mais trabalhos do ProNIC.

Ao fomentar a normalização da interoperabilidade BIM – MQT em Portugal, contribui-se para passar de uma situação em que apenas alguns projetistas a agilizaram, via soluções internas [8], para prática corrente.

O ProNIC – Protocolo para a Normalização da Informação Técnica na Construção [9], [10] – é uma plataforma para normalização de conteúdos técnicos em obras de edifícios e de estradas e para a sistematização e integração de informação durante o processo construtivo. Entre as suas funcionalidades, destacam-se a geração do MQT com artigos normalizados e padronizados, geração de condições técnicas “gerais”, geração de estimativas orçamentais, e agregação de elementos de informação (peças desenhadas e/ou peças escritas) internos ou externos.

*Industry Foundation Classes* (IFC) são uma norma aberta, ratificada internacionalmente [4], que se propõe a descrever digitalmente o ambiente construído num formato interoperável, que possibilite o acesso à informação por diversos intervenientes no processo construtivo através de diversas ferramentas [3], [5].

O formato IFC define diferentes classes de blocos de informação, cuja natureza é muito variável para permitir cobrir uma grande gama de aspetos ligados ao ambiente construído, tais como geometria dos elementos construtivos, grupos de propriedades, unidades de medição, relações entre classes, tipos de classificações, planeamento de tarefas, ou tipos de análise de sistemas.

A versão atual em vigor é 4.0.2.1(IFC4 ADD2 TC1), usualmente designada por IFC4, mas o desenvolvimento tem continuado e já existe uma nova versão 4.3.0.1 (IFC4.3 TC1) em processo de ratificação, usualmente referida como IFC4.3 [11].

Os elementos construtivos presentes num modelo BIM são transformados em objetos construtivos reais através da execução de um ou mais trabalhos de construção. Cada trabalho de construção tem de ser especificado e quantificado de forma apropriada, e o conjunto global de todos os trabalhos de construção necessários para realizar uma obra constituem o Mapa de Quantidades de Trabalhos (MQT).

Não é expectável que um modelo BIM, mesmo com alto nível de detalhe, possua toda a informação necessária para especificar apropriadamente todos os trabalhos [12]. A informação (relevante) que efetivamente existe no modelo BIM tem de ser suplementada pelo conhecimento e experiência da equipa de projeto.

No ProNIC, os trabalhos de construção estão normalizados e organizados sob uma estrutura de desagregação (WBS-CW, *Work Breakdown Structure – Construction Works*), e a seleção de um trabalho pela equipa de projeto consiste em navegar a WBS-CW e tomar uma série de decisões até chegar a um nó folha que caracteriza o item (CWA, *Construction Work Article*) desejado, e que deverá ser compatível com a restante informação do projeto, incluindo o modelo BIM.

Este processo deverá evitar trabalho desnecessário (como reintroduzir informação já presente no modelo BIM) e auxiliar as decisões da equipa de projeto apresentando informação de contexto, sugestões, e facilitando a verificação de informação potencialmente em conflito.

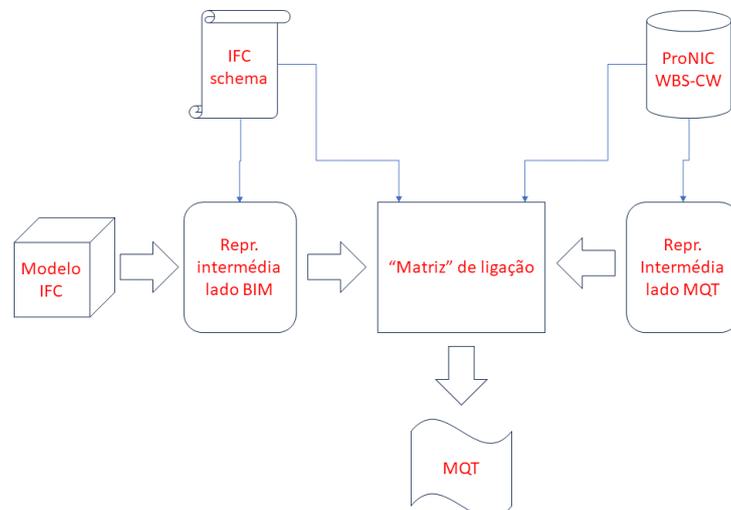
## 2. Objetivos

Tendo sido já apresentado um protótipo [1] que implementa a interligação entre modelos BIM e ProNIC, pretende-se agora desenvolver um refinamento da metodologia que permita melhor sistematizar as relações entre diferentes elementos de informação, e possibilite futuras atualizações ou adições sem impactar negativamente o trabalho já efetuado.

## 3. Metodologia

A ideia base subjacente à sistematização dos processos de ligação entre os elementos do modelo BIM e os artigos de trabalhos de construção do ProNIC é a definição de representações intermédias dos dados, de ambos os lados, que possibilitem utilizar uma “matriz” estruturada para os unir, como esquematizado na Figura 1.

**Figura 1**  
Visão geral da sistematização necessária para a interligação BIM – ProNIC.



O esquema da Figura 1 deve ser entendido como uma concetualização, pois a “matriz” de ligação dificilmente poderia ser implementada como uma matriz tradicional. No entanto, o conceito de *switchboard* (quadro de distribuição) é útil para refletir sobre como decompor uma relação de muitos-para-muitos em múltiplas relações de um-para-um, com dependências entre elas minimizadas pela escolha judiciosa das representações intermédias.

### 3.1. Representação de elementos BIM

No caso dos modelos IFC, os elementos construtivos alvo de análise são derivados da classe *IfcBuildingElement* (IBE), que estão relacionados com elementos informativos de outras classes.

É então necessário estabelecer uma forma de, a partir de um IBE específico, listar toda a informação que lhe está relacionada, e fazê-lo de forma a conservar o contexto semântico quer dos elementos informativos quer da natureza do relacionamento.

Os conjuntos de propriedades (*IfcPropertySet*) e quantidades (*IfcQuantitySet*) relacionados diretamente com o IBE são, normalmente, simples de obter e mapear.

Já outras características, como a localização (absoluta ou relativa) dos IBE depende da forma como o modelo foi construído e que informação sobre o edifício, pisos, ou zonas foi corretamente adicionada.

Outro desafio é a multiplicidade de possíveis representações, em que, por exemplo, uma escada pode ser modelada como *IfcStair* ou diretamente como uma sequência de *IfcSlab* (patamar) e *IfcStairFlight* (lanço).

### 3.2. Representação de artigos ProNIC

No ProNIC, além do texto normalizado (incluindo todos os parâmetros de especificação) que define um CWA, existe também informação de contexto, derivada da posição do artigo na WBS-CW. Muitas vezes essa informação também está explicitada no texto normalizado (por exemplo, a identificação do tipo de elemento estrutural: pilar, laje, etc.), mas existem casos em que isso não acontece (por exemplo, informação sobre a que rede de instalação um equipamento pertence).

Para a criação de um MQT no ProNIC, além da seleção do artigo, é necessário fornecer informações de caracterização dos materiais, elementos, trabalhos, ou outras informações que o projetista considere relevantes. Os campos que recebem essas informações, pré-definidas ou não, são designados parâmetros do artigo, e completam o texto padronizado, formando finalmente um artigo normalizado, mas único, caracterizando devidamente as condições específicas daquele projeto. Estes parâmetros foram detalhados e analisados em [12], [13], e exemplos da estrutura de capítulos do ProNIC podem ser encontrados em [14].

O próprio texto normalizado do CWA contém informação para além da que provém dos parâmetros de especificação, sendo necessário identificá-la, extraí-la, e classificá-la.

Por fim, mesmo os parâmetros de especificação do CWA, já classificados anteriormente [12] podem necessitar de uma análise adicional que permita inferir informação “presente”, mas não explícita, por exemplo, que os materiais alumínio e pinho são, respetivamente, tipos de metal e de madeira.

### 3.3. “Matriz” de ligação

A ligação entre a vista de elementos de construção e a vista de trabalhos de construção não é representável de forma sistemática por uma simples relação de um-para-um: podem ser necessários vários trabalhos para realizar um elemento, e cada trabalho pode, por vezes, ser especificado de formas diferentes e resultar num mesmo elemento.

A especificação completa de cada trabalho requer conhecimento específico que vai além das propriedades ou características do elemento, e tem de ser validada pela da equipa de projeto.

Assim, e para melhorar o processo de mapeamento ad hoc introduzido em [1], a interligação desejada entre um modelo BIM e o ProNIC deve assentar num processo dinâmico, que se adapte a cada elemento e permita, de forma sistemática, resultar num mapeamento predominantemente automático, mas sempre sob o controle do projetista.

O processo tem de ser robusto face a situações ambíguas, onde a informação do modelo não permite conclusivamente identificar o(s) trabalho(s) correspondente(s), permitindo ao projetista complementar a informação de forma simples, por exemplo, através da identificação dos filtros que mais rapidamente reduzem o número de alternativas.

## 4. Resultados

A Figura 2 apresenta o modelo de integração proposto entre um modelo BIM baseado em IFC e a plataforma ProNIC, de forma a sistematicamente se proceder à estruturação da informação que permita à equipa de projeto utilizar um processo semiautomático para elaborar o MQT.

Assim, o mapeamento entre cada IBE e respetivo(s) CWA(s) pode ser entendido como um processo de decisão assente em informação extraída do modelo BIM, organizada de forma paralela ao processo de especificação de um ou mais trabalhos de construção.

Para cada IBE, as decisões iniciais do mapeamento são baseadas em etiquetas (*tags*) textuais, que equivalem à informação de contexto presente na WBS-CW do ProNIC e que permite atingir o nível do CWA. Em seguida, os parâmetros de especificação têm



3. Havendo identificado as alternativas desejadas dos CWAs, eles vão ser parcialmente especificados a partir do mapeamento entre as propriedades do IBE e os parâmetros de especificação do ProNIC. As quantidades dos CWAs são também mapeadas a partir da extração de quantidades via `IfcQuantitySets` do IBE. O resto da especificação, se necessário, será completado já dentro do ProNIC pela equipa de projeto.

O protótipo existente [1] foi adaptado para o novo fluxo de trabalho, utilizando os critérios de classificação de artigos (tais como Material, Tipo, Localização, ou Elemento) como etiquetas do lado do ProNIC, e as funções da API da biblioteca `IfcOpenShell` para aceder a características do IBE existentes em elementos relacionados. Isto permitiu generalizar várias funções do programa em preparação para uma futura integração como módulo/serviço interno ao ProNIC.

Cada nova versão da WBS-CW do ProNIC terá associada uma nova versão da estrutura de mapeamento, que também será atualizada de acordo com novas versões IFC e novos IBEs.

O mecanismo de extração de informação de outras propriedades (características) associadas a um IBE deverá registar a sua utilização pela equipa de Projeto para desambiguar entre as alternativas de CWAs, de forma a permitir a posterior análise e criação de guias de boas práticas relativamente à modelação. Isto é ilustrado na Figura 3, onde o elemento laje em análise não possui informação estruturada suficiente para distinguir entre múltiplos artigos ProNIC (nem associar os respetivos parâmetros), mas a informação existente continua a ser recolhida.

**Figura 3**  
Exemplo de execução do protótipo.

```
{'type': 'IfcSlab',
'GlobalId': '3K04wr$IH78uLZzjnLtBC2',
'Name': 'Piso: Laje - 15 cm:273379',
'ObjectType': 'Laje: 15 cm',
'Tag': '273379',
'PredefinedType': 'FLOOR'}
@ {'cont. type': 'IfcBuildingStorey', 'cont. name': 'Cobertura', 'parent': 'Edifício A1'}
|
+-> Artigo(s) ProNIC:
7.1.1.1.12
7.1.1.1.13
7.1.1.2.12
7.1.1.2.13
7.1.2.1.3
7.1.2.1.4
7.1.2.2.3
7.1.2.2.4
(Tipo): {'type': '#118480=IfcSlabType('3K04wr$IH78uLZzjnLtBCP',#42,'Piso: Laje - 15 cm',,$,,$,(#
118521,#118524,#118527),$, '273400',$, .FLOOR.), 'predefined type': 'FLOOR'}
(Material): [{'mat. name': 'Betão - Betão moldado in situ', 'mat. category': 'Betão'}]
(Ângulo): 0.0
(Localização): {'external': False, 'aggregate': None, 'agg. type': None}
(Elemento): None
Qtd.: 21.7728225000923 m3

Pset_EnvironmentalImpactIndicators: {'Reference': 'Laje 15 cm', 'id': 118491}
Pset_ReinforcementBarPitchOfSlab: {'Reference': 'Laje 15 cm', 'id': 118495}
Pset_SlabCommon: {'IsExternal': False, 'Reference': 'Laje 15 cm', 'id': 118498, 'LoadBearing'
: True, 'PitchAngle': 0.0}
Qto_SlabBaseQuantities: {'GrossArea': 145.152150000615, 'NetArea': 297.916800001237, 'GrossVo
lume': 21.7728225000923, 'NetVolume': 21.7728225000923, 'Perimeter': 50.750000000486, 'Width': 0.150
00000000001, 'id': 118516}
```

## 5. Conclusões

A metodologia apresentada exprime uma estrutura de mapeamento entre elementos IFC de um modelo BIM e trabalhos de construção normalizados na WBS-CW do ProNIC que é sistemática e permite melhoramentos de forma progressiva, quer ao nível da representação da informação para cada elemento ou trabalho, quer ao nível das interdependências dos diferentes critérios que regulam quais as propriedades ou características que condicionam a escolha de trabalhos alternativos que possam realizar o elemento.

Apesar de ser um avanço face à solução ad hoc anterior, ainda existem algumas limitações, a solucionar em trabalho futuro:

A análise do contexto e do texto de cada CWA e posterior identificação e classificação das etiquetas é um processo manual e moroso. As inovações recentes a nível de processamento de linguagem natural (NLP, *Natural Language Processing*) podem auxiliar este processo.

Alguma informação que não é tipicamente modelada (por exemplo, se a especificação de estruturas de betão é para 50 ou 100 anos) obriga à intervenção manual pelo projetista em muitos elementos. A possibilidade de, após a primeira intervenção manual, guardar essa informação no modelo e aplicá-la a todos os outros elementos “semelhantes”, ainda que de forma provisória, reduziria consideravelmente o esforço do projetista.

Informação mal organizada no modelo (por exemplo, propriedades definidas no nome ou descrição do mesmo, em vez de definidas no `IfcPropertySet` adequado) pode ajudar o projetista, desde que identificada como tal. Novamente, a utilização de técnicas NLP possibilitariam o resgate de alguns dados que de outra forma seriam assumidos como omissos no modelo.

## Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por: Financiamento Base - UIDB/04708/2020 e DOI 10.54499/UIDB/04708/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04708/2020>) da Unidade de Investigação CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

Este trabalho expande o desenvolvimento previamente realizado pela mesma equipa de investigadores no âmbito das Atividades 1, 2, e 3 do Projeto Mobilizador REV@ CONSTRUCTION – Digital Construction Revolution, entre julho de 2020 e junho de 2023.

## Referências

- [1] J. Teixeira, Y. Ribeiro, P. Mêda, J. Moreira, R. Sousa, e H. Sousa, «Interoperabilidade entre modelos BIM e ProNIC: vista de elementos vs. vista de trabalhos.», em *CIRMARE 2023 – VI Congresso Internacional na “Recuperação, Manutenção e Reabilitação de Edifícios”*, Covilhã, Portugal, dez. 2023.
- [2] Consórcio ProNIC, «Projeto Mobilizador Digital Construction Revolution Rev@ Construction – Entregável 3.3 Implementação de interfaces de comunicação / integração / interoperabilidade entre o ProNIC e outros sistemas», Entregável 3.3, jun. 2023.
- [3] BuildingSMART, «Industry Foundation Classes (IFC) – An Introduction», Industry Foundation Classes (IFC) – An Introduction. Acedido: 18 de abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc>
- [4] INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION, «ISO 16739-1:2018 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema». novembro de 2018.
- [5] M. Laakso e A. Kiviniemi, «The IFC Standard – A Review Of History, Development, and Standardization».
- [6] Consórcio ProNIC, «PROJETO MOBILIZADOR DIGITAL CONSTRUCTION REVOLUTION REV@CONSTRUCTION – Entregável 3.4 Demonstrador – Operacionalização e testes», Entregável 3.4, jun. 2023.
- [7] IFCOPENSHELL, «The open source IFC toolkit and geometry engine». Acedido: 18 de abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://ifcopenshell.org/>
- [8] L. Vieira, M. Campos, J. Granja, e M. Azenha, «Modelação da informação e ferramenta digital orientadas à produção automática do MQT no contexto da disciplina de Arquitetura», em *4.º Congresso Português de Building Information Modelling vol. 1 – ptBIM*, 1.ª ed., B. Figueiredo, M. Azenha, e J. C. Lino, Eds., UMinho Editora, 2022, pp. 204-215. doi: 10.21814/uminho.ed.32.17.
- [9] P. Mêda, J. Teixeira, D. Calvetti, Y. Ribeiro, J. Moreira, e H. Sousa, «Legacy practices supporting BIM adoption in Portugal – Reflections from a large use case», em *ECPPM 2022 – eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction 2022*, 1.ª ed., London: CRC Press, 2023, pp. 679-686. doi: 10.1201/9781003354222-86.
- [10] P. Mêda, H. Sousa, e F. Ferreira, «Economic Relevance of Building Elements – Studies, New Framework, Evolutions and Support for Refurbishment Operations», em *Sustainable Construction*, vol. 8, J. M. P. Q. Delgado, Ed., em *Building Pathology and Rehabilitation*, vol. 8, Singapore: Springer Singapore, 2016, pp. 93-127. doi: 10.1007/978-981-10-0651-7\_5.

- [11] BuildingSMART, «IFC Specifications Database». Acedido: 18 de abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications>
- [12] Y. Ribeiro, J. Teixeira, P. Mêda, J. Moreira, R. Sousa, e H. Sousa, «Information systems for construction 4.0: classification of contents for integration and interoperability – case study», apresentado na 2023 European Conference on Computing in Construction and the 40th International CIB W78 Conference, jul. 2023. doi: 10.35490/EC3.2023.289.
- [13] Y. Ribeiro, J. Teixeira, P. Mêda, J. Moreira, e H. Sousa, «Sistemas de informação para a Construção 4.0: Conteúdos, integração e interoperabilidade – Estudo de caso», em *CONSTRUÇÃO 2022*, Guimarães, Portugal: Universidade do Minho, dez. 2022. [Em linha]. Disponível em: [https://civil.uminho.pt/construcao2022/files/Livros\\_Atas.zip](https://civil.uminho.pt/construcao2022/files/Livros_Atas.zip)
- [14] R. Giollo, «INTEROPERABILIDADE ENTRE MODELOS BIM E APLICAÇÃO PRO-NIC: Reabilitação de um edifício público», Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, Portugal, 2016.



# Automatismos e estimativa orçamental em BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.50>

**A. Teresa Afonso<sup>1</sup>, Vasco Leónidas Leal<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> *NLA – Nuno Leónidas Arquitectos, Lda, Oeiras*

## Resumo

Com a evolução do BIM na indústria AEC, a criação de automatismos para o aumento da eficiência e produtividade tornou-se uma prioridade dentro da NLA (Nuno Leónidas Arquitectos). Sendo o principal objetivo da equipa de desenvolvimento, a criação de procedimentos e ferramentas que substituam processos repetitivos e manuais, que possam para além de reduzir o tempo da produção, reduzir também o erro humano. Neste artigo apresentaremos uma série de pequenos automatismos essenciais para colmatar limitações do software, com ênfase no processo utilizado para a criação das estimativas orçamentais. Neste momento, a NLA possui um processo que permite a criação do articulado tradicional, diretamente do Revit sendo exportado automaticamente para um documento Excel pré-formatado e pronto a ser partilhado. Este processo envolve não apenas ‘add-ins’ desenvolvidos pela equipa, como também, todo um processo sistematizado na criação do modelo e na gestão e organização da informação. Com este procedimento, conseguimos poupar semanas de trabalho no processamento dos dados extraídos do Revit, permitindo que seja possível proceder à atualização do mapa de quantidades ou estimativa orçamental, com o recurso ao ‘add-in’ proprietário disponível na barra de ferramentas da NLA. Concluímos com a análise dos prós e contras do sistema criado na nossa empresa, em comparação com outras metodologias tradicionais ou híbridas.

## 1. Introdução

O BIM tem alterado radicalmente os processos de medição e exigido que os profissionais envolvidos desenvolvam novas capacidades e que alterem estruturalmente a sua forma de trabalhar. Embora esta evolução seja inevitável e racionalmente lógica, as metodologias BIM para estimativa e medição orçamental, têm tido barreiras tais como as restantes metodologias BIM para toda a indústria AEC. Como discriminado no artigo “Barriers to the adoption of Building Information Modeling”[1] as principais barreiras na adoção são: Falta de consciencialização das mais-valias do BIM e o seu valor de negócio; falta de experiência em BIM e o custo da formação; a resistência à mudança e a complexidade do software.

Na prática concluiu-se que a par da complexidade do software, as suas limitações têm sido também uma barreira. Nem sempre os softwares disponíveis no mercado, embora complexos, têm a capacidade de responder às necessidades práticas e contextuais das equipas de projeto e da indústria em Portugal. Exemplo disto é a estrutura tradicional de um articulado de medições. Assim, na falta de soluções práticas adaptadas às necessidades da empresa foi iniciado um processo de estudo e desenvolvimento de um método interno.

Para facilitar a abordagem ao longo do texto clarificamos alguns termos e siglas:

MQT = Mapa de Quantidades e Trabalhos / BOQ = Bill Of Quantities

MQTP = Mapa de Quantidades, Trabalhos e Preços

Articulado = Documento que compõe e organiza a informação do MQTP

Add-in = Complemento que integra ferramentas não nativas do software

## 2. Metodologia

### 2.1. Identificação dos processos de medição usados na indústria

Consideremos os três principais métodos usados: o método tradicional: em que é feita uma medição manual consolidada num ficheiro de Excel; o método híbrido: em que é utilizado o modelo para extrair parte ou todas as quantidades, sendo a informação gerida, completada e formatada no ficheiro de Excel; o método BIM: no qual o modelo é efetivamente maximizado, sendo importado para um software de medição, e mais tarde exportado para um ficheiro de Excel. Estando o atelier focado num processo totalmente BIM, o método lógico seria o último indicado, e por isso começou a abordar de forma gradual este processo.

## 2.2. Estudo dos softwares de medições disponíveis no mercado

O trabalho foi iniciado com um longo estudo dos vários softwares de medição disponíveis no mercado, de forma a avaliarmos as suas características e adaptabilidade às necessidades do atelier, com base no princípio de garantir a interoperabilidade com o software de modelação utilizado: o Revit.

Nos vários softwares de medição que testámos pudemos concluir: 1 – que baseiam-se num processo de mapeamento, entre os elementos do modelo e um articulado do software de medição; o que se revela bastante eficiente caso seja utilizada uma codificação fixa e transversal aos vários projetos, uma vez que permite um aproveitamento do mapeamento; no entanto, isto não corresponde à realidade do mundo da construção e do projeto em Portugal; 2 – a incapacidade de gerar um documento final estruturado formatado em Excel, de acordo com os standards utilizados pela indústria, em Portugal; isto exigia um trabalho moroso de pós-produção.

Concluiu-se, com este estudo, que para o processo se tornar eficiente, tendo em conta o tempo disponível para a tarefa e as necessidades de 'output', não seria viável depender de softwares de medições externos ao software de modelação. Deveria ser criado um método interno centralizado no modelo e no software de modelação. Este permitiu, através do recurso a um único software para o processo, centralizar a informação, garantindo a sua consistência, poupar tempo em importações, transferências de informação e mapeamentos. Ao reduzir a diversidade de softwares utilizados pelas equipas, foi possível diminuir o tempo necessário para o processo.

## 2.3. Software de modelação

Partindo do pressuposto de que seria utilizado apenas o software de modelação para a produção do MQTP tornou-se necessário analisar limitações, tendo as seguintes sido identificadas: Certos elementos não permitem a extração de quantidades, como é o caso das escadas; As tabelas multi-categoria não permitem extrair as quantidades de todas as categorias, pois só permitem a consulta de parâmetros comuns às várias categorias, o que inviabiliza a utilização de parâmetros como 'area' e 'length', permitindo apenas o 'count' que não cobre todas as situações e a exportação precária para 'Excel', formato exigido atualmente na entrega do MQTP.

## 2.4. Desafio

O desafio seria gerir toda a informação diretamente no modelo de Revit: quantidades, descrições, trabalhos, preços, articulado e exportação. Para isto ser possível tivemos que resolver 3 Situações:

### **Situação 1**

**Problema:** Extrair quantidades de elementos que por sistema não são passíveis de medir, como indicado anteriormente, por exemplo as escadas;

**Solução Proposta / Automatismo 1:** Desenvolver um 'add-in' que com base na informação disponível na base de dados relativamente às escadas, permitisse calcular as áreas dos elementos que a compõe.

**Resultado / Validação:** O 'add-in' foi desenvolvido, testado, os resultados foram comparados com o método tradicional e foi implementado no processo do atelier.

### **Situação 2**

**Problema:** Resolver a limitação das tabelas multi-categoria e criar uma Tabela que compilasse toda a informação, formando o articulado completo;

**Solução Proposta / Automatismo 2:** Desenvolver um 'add-in' que escrevesse as quantidades num parâmetro comum às categorias para assim poder ser incluído numa tabela multi-categoria; Esta solução será descrita com maior detalha, no desenvolver do documento.

**Resultado / Validação:** O 'add-in' foi desenvolvido, testado, os resultados foram comparados com os valores dos parâmetros de sistema e foi implementado no processo do atelier.

### **Situação 3**

**Problema:** Exportar o MQTP para Excel de forma a poder ser partilhado com o cliente e o construtor, incluindo formatação e fórmulas de forma a permitir a sua alteração;

**Solução Proposta / Automatismo 3:** Desenvolver um 'add-in' que exporte a tabela do Revit cumprindo as necessidades anteriormente referidas.

**Resultado / Validação:** O 'add-in' foi desenvolvido e testado. O resultado final é compatível com as exigências da indústria e foi implementado no processo do atelier.

## 2.5 . Preparação do modelo e da informação

A utilização das ferramentas desenvolvidas internamente não exige formação específica da parte do utilizador, a sua interação resume-se à utilização de uma ferramenta através da sua seleção. No entanto, é essencial que os colaboradores tenham conhecimentos consolidados de BIM, de projeto e dos sistemas construtivos de forma a garantirem que os modelos cumprem os requisitos para a execução dos 'add-ins' e assim gerar o MQTP, pois os automatismos irão apenas processar a informação incluída nos modelos / ficheiros.

Todos os elementos a serem considerados no MQTP têm não só que ser modelados (LOG – Level Of Geometry) e especificados (Level Of Information), como têm de ser medíveis e quantificáveis de acordo com a sua tipologia, correndo o risco de grandes omissões e erros no MQTP. Por exemplo, no caso de um vão podemos ter três elementos que o compõe: o vão propriamente dito com a caixilharia e vidro, o peitoril ou soleira e eventualmente uma cantaria / moldura em pedra. De acordo com as

regras de um MQTP as unidades de medição a considerar para os elementos anteriores são diferentes sendo estas respetivamente e pela mesma ordem: unidade, metro linear e metro quadrado. Isto significa que a família que compõe o vão deve ser constituída por famílias aninhadas que corresponderão a diferentes artigos do MQTP, que respeitem as unidades de medição necessárias para a extração de quantidades. Os parâmetros de sistema a serem considerados para cada um dos elementos e novamente por ordem serão: *count*, *length* e *area*. Tendo garantida a parte da qualidade da modelação (LOD – Level of Development) e relembrando que tudo o que tiver que fazer parte do MQTP tem que estar modelado, é necessário ainda garantir o preenchimento da informação que corresponde ao LOI, bem como, campos que permitam organizar o articulado de forma estruturada. Para isto foram criados parâmetros partilhados associados às várias categorias de elementos: *NLA\_Code* (Código do objecto no projeto); *NLA\_BOQ\_Chapter* (Capítulo do MQTP que ordena as categorias da informação correspondentes às diferentes empreitadas, como são exemplo as carpintarias e serralharias); *NLA\_Description* (Descrição do elemento / artigos do MQTP); *NLA\_Unit\_Price* (Preço unitário do Elemento); *NLA\_Measurement\_Unit* (A unidade de medição a ser considerada neste elemento, que informa o automatismo sobre qual o parâmetro de sistema considerar para as quantidades); *NLA\_Quantities* (Parâmetro preenchido pelo automatismo mais à frente abordado com base na unidade de medição definida para o elemento). Foi ainda necessário criar o parâmetro *NLA\_Total\_Price*, neste caso calculado, para chegarmos ao custo final do artigo através da multiplicação dos parâmetros *NLA\_Quantities* e *NLA\_Unit\_Price*.

## 2.6. Auditoria aos ficheiros

Os modelos devem ser auditados antes de extraídas as medições, processo efetuado essencialmente de forma visual através da análise do modelo em vistas 3D com filtros aplicados que permitam identificar os elementos com informação por atribuir, e pela análise de tabelas auxiliares que permitem rever a informação e campos que estejam vazios. É também essencial nesta auditoria, garantir a existência dos elementos e informação necessária, como propriedades que afetem as quantidades, por exemplo, garantir que não existem elementos duplicados, com limites em projeção horizontal ou frontal errados que possam inflacionar as quantidades.

## 2.7. Extração das quantidades – Automatismo / 'Add-in' 2

O parâmetro *NLA\_Quantities* é essencial, pois possibilita a utilização de uma tabela multi-categoria para a criação do articulado. Como referido anteriormente, existe uma limitação dos parâmetros que podem ser importados para uma tabela multi-categoria. Apenas são passíveis de importação, os parâmetros comuns às várias categorias. Assim, foi criado um parâmetro partilhado, transversal às várias categorias para receber a informação das quantidades. Posto isto, foi necessário desenvolver um 'add-in' em 'Python' para o seu preenchimento, que por sua vez vai buscar o parâmetro de sistema adequado, dependendo da informação dada no parâmetro *NLA\_Measurement\_Unit*. A tabela abaixo esquematiza o processo.

Tabela 1: Correspondência das categorias de objetos com as unidades de medição

Categoria	Elemento	NLA_Measurement_Unit	Parâmetro de Sistema (Fonte)	NLA_Quantities (Output)
Doors	Porta	u	Count	3
Railings	Guarda	m	Length	5
Walls	Parede	m2	Area	10
Walls	Rodapé	m	Length	3
Floors	Pavimento	m2	Area	10
Floors	Betão	m3	Volume	30

Com todos os parâmetros preenchidos e com as quantidades atualizadas através da utilização do 'add-in' das quantidades, podemos consultar o MQTP diretamente no ficheiro de Revit.

**Figura 1**  
Articulado – Tabela no  
ficheiro de Revit.

A	B	C	D	E	F
Código	Descritivo MQT	Quantidade	Unidade	Preço Unidade	Preço Total
<b>Capítulo 01 - Estaleiro</b>					
EST01	Montagem e desmontagem de estaleiro, incluindo todas as instalações, ligação provisóri	1	VG	5000	5000€
EST02	Fornecimento de apoio de construção civil á em preitada de Electricidade, Telefones, T	1	VG	800	800€
EST03	Idem, Aguas, Esgotos e Gaz, incluindo nomeadamente abertura e tapamento de roços e	1	VG	250	250€
EST04	Idem, Ar Condicionado e Ventilação, incluindo nomeadamente abertura e tapamento de r	1	VG	800	800€
		4			6850€
<b>Capítulo 02 - Demolições</b>					
DEM01	Paineis Interiores	11.86	m2	11.04	131€
DEM02	Porta Interior de Madeira	6	un	5.088	31€
DEM03	Pavimento	197.34	m2	9.408	1857€
DEM04	Tectos Falsos	192.83	m2	8.268	1594€
DEM05	Rebaixo de Tectos Falsos	19.96	m2	8.268	165€
DEM06	Parede Tijolo Rebocada	150.35	m2	5.7	857€
		578.34			4634€
<b>Capítulo 03 - Alvenarias, Gesso Cartonado e Argamassas</b>					
22.01	Fornecimento e montagem de Parede múltipla em gesso laminado (12.5+12.5+70+12.5+	39.43	m2	68.954	2719€
22.02	Fornecimento e montagem de Parede múltipla em gesso laminado (12.5+12.5+48+Espa	16.74	m2	76.889	1287€
22.03	Fornecimento e montagem de Parede múltipla em gesso laminado (12.5+12.5+90+12.5+	2.37	m2	70.9435	168€
er.01	Fornecimento e aplicação de Reboco Interior de 2cm	2.15	m2	26.956	58€
		60.7			4232€

## 2.8. Atualização e validação das quantidades

Quando existem alterações aos modelos que afetem o MQTP é necessário executar novamente o 'add-in' 2 para que as quantidades sejam atualizadas.

Embora os automatismos simplifiquem e agilizem os processos, não anulam a necessidade de uma verificação por parte do utilizador, a fim de aferir a existência de eventuais erros.

## 2.9. Exportação – Automatismo / 'Add-in' 3

Foi desenvolvido um 'add-in' em 'C#', que permite o acesso direto à informação da Tabela, a pré-formatação de toda a informação, composição do número sequencial

de articulado por capítulo, definição e preenchimento de toda a informação do cabeçalho, bem como, logotipo, criação de fórmulas de cálculo para cada célula de forma dinâmica, permitindo calcular não apenas o valor final por linha, como o total parcial por capítulo, e ainda o total final do mapa de quantidades, gerando um ficheiro folha de cálculo com toda esta informação compilada. Todo o processo, não depende da existência da aplicação (ex: Excel) sendo gerado através de variáveis programadas, no que toca a dimensões, e variáveis dinâmicas para parte da informação de suporte. O 'add-in' dispõe de um formulário de configurações que permite definir os 'labels', ou seja, os títulos e informação de cabeçalho a integrar o MQTP, assim como identificar que parâmetros do Revit serão exportados para o MQTP e definir qual a tabela a utilizar. Estas definições são guardadas num ficheiro de configuração, sendo a base de exportação, até serem novamente alteradas.

**BOQGenerator settings**

Bellow you can find the default values for exporting the BOQ, and ajust it as needed.

Change only if you know what you are doing!

Schedule name	Title label	Price/un label
000_Print_MQT	Estimativa orçamental	PREÇO / UN
Date parameter	Client label	Total price label
NLA_BOQ_Date	CLIENTE	PREÇO TOTAL
Revision parameter	Project label	Chapter total label
NLA_BOQ_Rev	PROJECTO	Total do capítulo
Revision date parameter	Code label	Final total label
NLA_BOQ_Rev_Date	CÓDIGO	Total final
Specialty name	Phase label	Article label
Arquitectura	FASE	ART.
Show prices	Date label	Description label
No	DATA	DESCRIÇÃO
Logo	Revision label	Unit label
	REVISÃO N°	UN
<input type="button" value="UPLOAD"/>	Date version label	Quantity label
	DATA VER	QT
		<input type="button" value="SAVE"/>

[www.wecode-it.com](http://www.wecode-it.com)

**Figura 2**  
Gerador de BOQ  
– Definições de exportação.

**BOQGenerator**

Click on the button bellow to generate the BOQ.  
(if you wish to change the configuration, click on the settings button, bellow right)

[www.wecode-it.com](http://www.wecode-it.com)

**Figura 3**  
Gerador de BOQ – Botão para gerar o documento final.

É ainda gerado o nome do ficheiro de forma automática, com base no campo de código de projeto, podendo o mesmo ser também configurado manualmente, e escolher qual a localização para o ficheiro.

As fórmulas automáticas geradas, permitem abrir o ficheiro de folha de cálculo em modo de edição, e alterar manualmente valores de quantidades ou preços unitários, sendo o mesmo refletido automaticamente no preço total, total de capítulo e total final, devido às fórmulas introduzidas pelo 'add-in', permitindo assim ao utilizador final, cliente ou construtor, fazer pequenos ajustes que considere necessários.

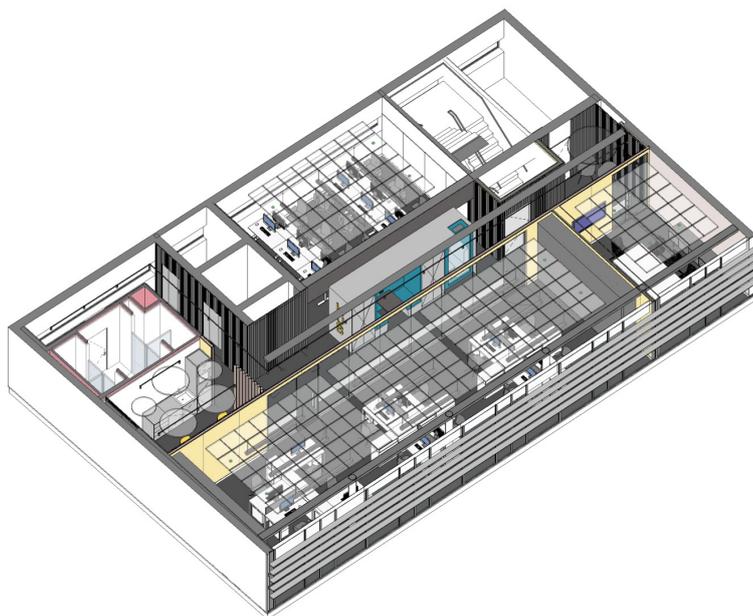
**Figura 4**  
Gerador de BOQ –  
Documento Exportado.

N L A		ESTIMATIVA ORÇAMENTAL					
CLIENTE:		- REGIÃO SUL					
PROJECTO: REMODELAÇÃO 4º PISO						DATA: 02/12/2023	
CÓDIGO: 469						REVISÃO Nº: 01	
FASE: PROJECTO DE EXECUÇÃO						DATA VER: 05/12/2023	
ARQUITECTURA							
ART.	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	QT	UN	PREÇO / UN	PREÇO TOTAL	
<b>Capítulo 01 - Estaleiro</b>							
01.001	EST01	Montagem e desmontagem de estaleiro, incluindo todas as instalações, ligação provisória de redes de águas, esgotos, energia e comunicações, acessos e todos os trabalhos e equipamentos necessários à execução da obra.	1	VG	5,000.00 €	=SUM(D11*F11)	

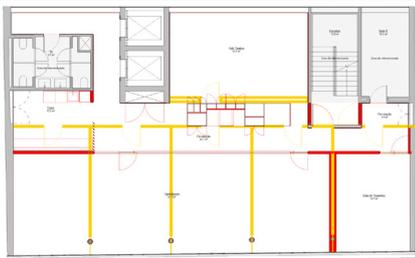
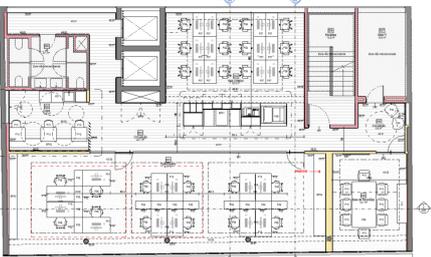
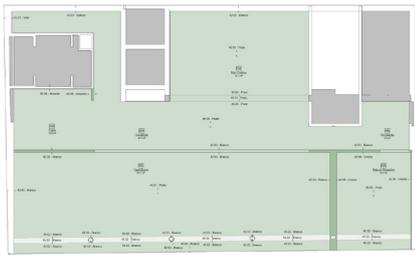
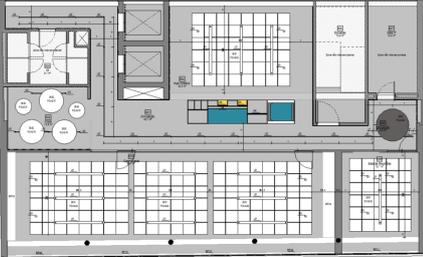
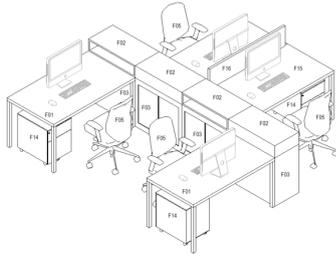
### 3. Caso de estudo

Este método foi posto à prova na remodelação de um pequeno piso de escritórios. O existente foi modelado, as demolições definidas, todos os elementos da construção proposta foram integrados, assim como todos os equipamentos e mobiliário.

**Figura 5**  
Projeto Caso de Estudo.



O projeto de execução foi integralmente desenvolvido em Revit, abaixo a lista de elementos que o compõe. Todas as descrições, trabalhos e preços foram geridos diretamente no modelo.

Elemento de entrega	Tipo de elemento de Revit / Notas	Imagem Exemplo
Cores Convencionais	Floor Plan  As fases integram também o MQTP. Foram atribuídas descrições e preços aos elementos a demolir.	
Planta	Floor Plan  Todos os elementos estão codificados e identificados nos desenhos.	
Planta de Pinturas	Floor Plan  A planta de pinturas serve também como elemento de trabalho essencial na atribuição dos acabamentos e garantia de que os mesmos são considerados no MQTP.	
Planta de Tetos	Ceiling Plan  Todos os elementos estão codificados e identificados nos desenhos.	
Cortes	Sections	
Layouts	3Ds  Os layouts foram definidos no modelo com famílias de objetos codificados, prontos a integrar o MQTP	



eficiente para o atelier tendo em conta as suas necessidades. O método foi desenvolvido no último ano, as ferramentas foram desenvolvidas em 3 meses de trabalho descontínuo de duas pessoas, ambas com conhecimentos de arquitetura e programação. Apesar do investimento temporal considerável, este é visto como um investimento pois a ferramenta será utilizada em projetos futuros, sem necessidade de adaptação individual. O desenvolvimento de uma ferramenta personalizada para um atelier tem custos essencialmente associados ao tempo, mas recolhe frutos a longo prazo no tempo poupado na criação do MQTP de cada projeto. Até à utilização deste método, o processo de medições, embora já híbrido e não tradicional, como anteriormente explicado, era ainda moroso e falível. Dependia da conclusão do projeto para poder avançar, exigia uma pessoa dedicada à tarefa, comprometendo a data de entrega do projeto. Com este método, o MQTP começa a ser preparado à data da criação do modelo, estando finalizado com o fim da definição do projeto e da preparação do pacote de elementos desenhados e escritos. Comprovámos que assim, poupamos semanas de trabalho de colaboradores dedicados à tarefa e que conseguimos diminuir drasticamente os erros e omissões consequentes da falha humana.

Este processo continuará a ser desenvolvido e aperfeiçoado, tendo sempre em mente o aumento da produtividade e do rigor das medições e estimativas orçamentais.

## Referências

- [1] Otasowie, K., Aigbavboa, C., Ikuabe, M., Adekunle, P., Oke A., & Adekunle, S. (2023). Barriers to the adoption of building information modeling in quantity surveying practice in South Africa. *Proceedings of the 31st Annual - Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC31)*, 41-49
- [2] Gervase Cunningham, Sharon McClements, Mark McKane, and David Comiskey. *Incorporating Building Information Modelling learning on BSc(Hons) Quantity Surveying & Commercial Management programme at Ulster University. School of the Built Environment, Ulster University – CITA BIM Gathering 2017, November 23rd – 24th 2017*





Livro de atas do Congresso ptBIM 2024, onde se promove a discussão técnico-científica em língua Portuguesa da metodologia 'Building Information Modelling' (BIM), envolvendo a participação ativa das comunidades profissional e académica das áreas de Arquitetura, Engenharia e Construção. Pretende-se enfatizar os problemas e esforços de implementação BIM no Ambiente Construído e reforçar as redes de profissionais que incorporam práticas BIM nas suas atividades.

<https://ptbim.org/>



UMinho Editora



Universidade do Minho

ISBN 978-989-9074-36-1



9 789899 074361 >