



GESTÃO DE INFRAESTRUTURAS PÚBLICAS ATRAVÉS DO BIM: MODELAÇÃO DE TÚNEIS FERROVIÁRIOS DAS INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL

MANAGING PUBLIC INFRASTRUCTURES THROUGH BIM: MODELING RAILWAY TUNNELS FOR INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL


[10.29073/rae.v2i1.796](https://doi.org/10.29073/rae.v2i1.796)

RECEÇÃO: 14 de novembro de 2023.

APROVAÇÃO: 20 de novembro de 2023.

PUBLICAÇÃO: 6 de fevereiro de 2024.

AUTO/A 1: Inês Caetano , BUILT CoLAB / INESC-ID, Portugal, ines.caetano@builtcolab.pt.

AUTO/A 2: Débora Pinto , BUILT CoLAB, Portugal, debora.pinto@builtcolab.pt.


AUTO/A 3: João Silva , BUILT CoLAB, Portugal, joao.silva@builtcolab.pt.


AUTO/A 4: Yessica Barbosa, BUILT CoLAB, Portugal, yessica.barbosa@builtcolab.pt.


AUTO/A 5: Luís Sanhudo , BUILT CoLAB, Portugal, luis.sanhudo@builtcolab.pt.


AUTO/A 6: João Poças Martins , BUILT CoLAB / FEUP / CONSTRUCT, Portugal, pocas.martins@builtcolab.pt.

AUTO/A 7: Margarida Amândio , BUILT CoLAB, Portugal, margarida.amandio@builtcolab.pt.

AUTO/A 8: Miguel Azenha , Universidade do Minho / ISISE / ARISE, Portugal, miguel.azenha@civil.uminho.pt.

AUTO/A 9: José Granja , Universidade do Minho / ISISE / ARISE, Portugal, granja@civil.uminho.pt.

AUTO/A 10: Mohammad El Sibaii , Universidade do Minho / ISISE / ARISE, Portugal, mohamadelsibaii@gmail.com.

AUTO/A 11: Hugo Patrício , Infraestruturas de Portugal, Portugal, hugo.patricio@infraestruturasdeportugal.pt.

RESUMO

O setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) necessita de processos de suporte à digitalização do património construído que facilitem o desenvolvimento de modelos *as-is* a partir de repositórios de informação alfanumérica e geométrica existentes e conseqüentemente tornem a gestão dessa informação mais eficiente ao longo do ciclo de vida do ativo representado. Uma metodologia frequentemente aplicada no setor AEC é o *Building Information Modelling* (BIM), que permite criar réplicas digitais do património construído. Com o objetivo de testar as vantagens da metodologia BIM para as estratégias de manutenção das infraestruturas ferroviárias existentes, foi desenvolvida uma extensão de aplicação em plataformas de base BIM de suporte à gestão de um repositório de modelos de túneis ferroviários e uma interface gráfica para facilitar a sua manipulação. O artigo elabora sobre a metodologia adotada no desenvolvimento da extensão BIM, assim como no processo de gestão por esta suportado. Também são discutidas as vantagens de centralizar vários tipos de informação num modelo 3D partilhado, não só em termos da comunicação e partilha de dados entre vários colaboradores, mas também relativamente à tomada de decisão e ao planeamento de ações de inspeção/intervenção ao longo do ciclo de vida do ativo representado.

PALAVRAS-CHAVE: BIM; Gestão de Ativos; Repositório BIM; Túneis Ferroviários.

ABSTRACT

The Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry requires strategies to digitalize the built environment. These strategies need to facilitate the development of *as-is* models from existing repositories and databases, making the management of this information more efficient throughout the asset's life cycle. One methodology frequently applied in AEC is Building Information Modeling (BIM), which allows the creation of digital replicas of the built environment. To test the advantages of BIM in the management of railway infrastructures, a BIM-based plugin was



developed to facilitate the visualization and manipulation of a repository containing BIM models of several railway tunnels. The article elaborates on the methodology adopted in the development of the plugin, as well as the management process it supports. The advantages of centralizing various types of data in a shared 3D model are also discussed, not only in terms of communication and data sharing between various stakeholders, but also regarding decision-making processes and the planning of inspection/intervention activities throughout the assets' life cycle.

KEYWORDS: Asset Management; BIM; BIM Repository; Railway Tunnels.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) está em constante evolução. Atualmente, existe uma crescente pressão para adotar novas tecnologias digitais e novas metodologias de projeto, como a metodologia *Building Information Modelling* (BIM). Esta metodologia visa uniformizar os processos de projeto e construção, minimizando potenciais desvios entre estes. Esta abordagem envolve a criação de um modelo virtual contendo toda a informação relevante para suportar o projeto, construção e operação de obras de Engenharia Civil (Eastman et al., 2008). O resultado é um modelo tridimensional da obra que serve como suporte visual aos vários intervenientes no processo, desde clientes a fabricantes, e atua como repositório central de informação de onde é possível extrair a informação necessária às diferentes tarefas técnicas. Adicionalmente, a metodologia BIM facilita a colaboração entre diferentes especialistas, assim como a automatização de processos de análise e fabricação. Esta metodologia também permite planejar as tarefas de construção e manutenção de modo a evitar potenciais conflitos e divergências de informação e a otimizar os recursos temporais, materiais e humanos existentes (Garber, 2014; Sharples, 2009). Estas vantagens são críticas para responder às métricas impostas nos últimos anos para melhorar a gestão do património construído (Evins, 2013) e aproximar o setor AEC dos objetivos propostos pela Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável (UN, 2015). Este fato motivou a implementação da metodologia BIM no setor AEC, dando origem a sistemas de normalização como a série ISO 19650, a qual disponibiliza diretrizes para a gestão de informação através desta metodologia ao longo do ciclo de vida dos ativos (ISO 19650, 2018; ISO 55000, 2014; UN, 2015).

A implementação da metodologia BIM no setor das infraestruturas ferroviárias tem crescido nas últimas décadas, principalmente em fases de projeto, construção e reabilitação. Neste contexto, a sua aplicação mais frequente tem sido a visualização e coordenação de informação, estimativa de custos e quantidades, planeamento e simulação dos processos de construção, e apoio à pré-fabricação (Acerra et al., 2022; Bensalah et al., 2019; Neves et al., 2019; Zhanping et al., 2019; Zhou et al., 2021). Contudo, a metodologia BIM ainda é pouco utilizada na fase de gestão de ativos neste tipo de infraestruturas (Xu et al., 2020), sendo por isso importante realizar projetos piloto que permitam ao setor perceber as suas vantagens.

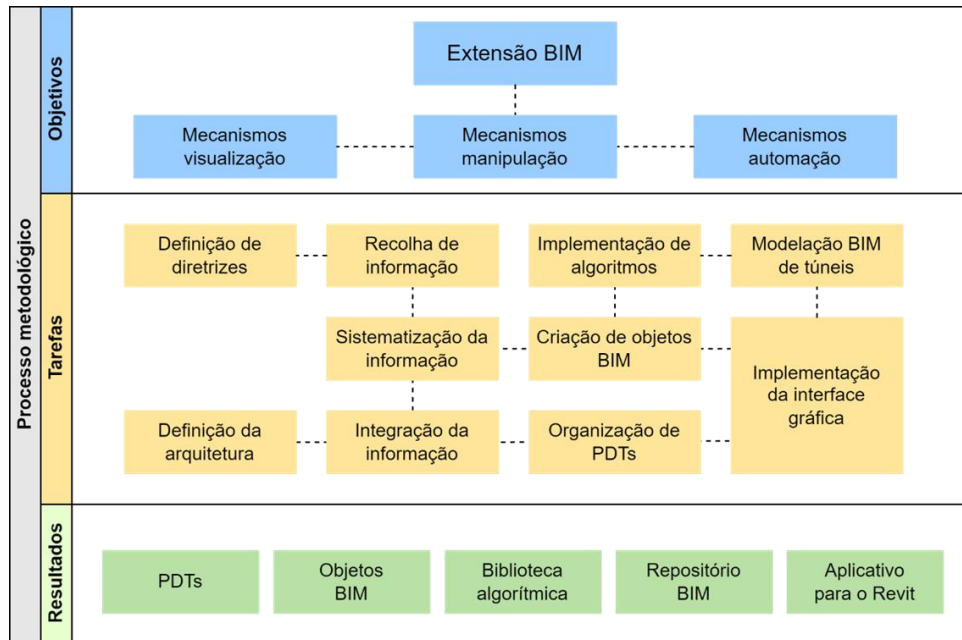
O projeto *RoboShot@FRC: Sistema Robotizado para Projeção Otimizada de Betão Reforçado com Fibras em Túneis Ferroviários* (Patrício, 2023) é um projeto de inovação e desenvolvimento (I&D) financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) da União Europeia através do POCI — Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020) do Portugal 2020 que visa contribuir para a estratégia europeia climática através da melhoria de utilização e gestão das infraestruturas ferroviárias nacionais. Para tal, foram desenvolvidas estratégias de suporte à digitalização da rede ferroviária gerida pela empresa pública Infraestruturas de Portugal (IP), facilitando a sua monitorização ao longo do ciclo de vida. Isto envolveu tecnologias e ferramentas avançadas de digitalização e modelação capazes de coordenar diferentes tipos de informação (e.g., informação estrutural e dados de levantamentos e inspeções) de forma integrada e intuitiva, facilitando o planeamento de tarefas de manutenção e reabilitação, assim como o dimensionamento de estruturas de reforço com novos materiais, como por exemplo o betão reforçado com fibras (BRF).

O artigo foca-se numa das atividades deste projeto, nomeadamente o desenvolvimento de uma extensão BIM para a ferramenta Autodesk Revit para a caracterização e gestão integrada da rede de túneis ferroviários da IP. As secções seguintes explicam o processo metodológico por detrás desta atividade (Secção 2), os elementos que compõem a extensão BIM (Secção 3), e os resultados obtidos (Secção 4). Por fim, são discutidos os contributos da extensão BIM desenvolvida para as ações de monitorização e manutenção da IP (Secção 5).

2. METODOLOGIA

A atividade do projeto RoboShot@FRC em foco teve como objetivo testar a integração da metodologia BIM no contexto de trabalho da IP. Para tal, desenvolveu-se uma extensão BIM para potenciar a gestão integrada da rede de túneis ferroviários gerida por esta empresa, facilitando a visualização e a manipulação de informação relativa à componente estrutural destes elementos. A Figura 1 sumariza o processo metodológico adotado para atingir estes objetivos, identificando as tarefas executadas e os resultados necessários para a construção da extensão BIM.

FIGURA 1: Processo metodológico adotado no desenvolvimento da extensão BIM no âmbito do projeto RoboShot@FRC.



2.1. TAREFAS

A complexidade e abrangência do objetivo proposto levou ao estabelecimento das seguintes tarefas:

1. Definição da arquitetura da extensão BIM;
2. Normalização e sistematização da informação da IP numa base de dados única;
3. Criação de objetos BIM para os elementos ferroviários a representar nos modelos;
4. Criação de *Product Data Templates* (PDTs);
5. Implementação de algoritmos de suporte à modelação BIM e análise estrutural;
6. Modelação BIM dos túneis ferroviários com diferentes níveis de informação necessários;
7. Integração dos resultados das tarefas 3, 4 e 5 na extensão BIM;
8. Implementação de uma interface gráfica para a extensão BIM.

Na tarefa 1 estabeleceu-se a arquitetura da extensão BIM com base no seu propósito de utilização, nomeadamente a visualização e extração de informação dentro de um ambiente de modelação BIM. Para tal definiram-se as fontes de informação da extensão BIM (base de dados e repositório de modelos BIM) e os fluxos entre essa informação.



Na tarefa 2 definiu-se a estrutura e o conteúdo da base de dados tendo em conta a informação fornecida pela IP, e as diretrizes para a construção dos modelos BIM, como por exemplo os níveis de informação necessários, tendo em conta: (i) a EN 17412-1, *Building Information Modelling — Level of Information Need — Part 1: Concepts and principles*; (ii) os objetivos da IP; e (iii) os propósitos de utilização dos modelos. Esta tarefa serviu de base às tarefas seguintes, estruturando os dados para a criação de objetos BIM e PDTs no contexto da ferrovia (tarefas 3 e 4) e para a implementação dos algoritmos mencionados (tarefa 5).

Os algoritmos desenvolvidos na tarefa 5 foram em seguida aplicados na geração dos modelos BIM do repositório (tarefa 6), automatizando o processamento e a materialização das nuvens de pontos dos túneis em superfícies paramétricas, assim como a criação de objetos BIM tendo em conta o nível de informação necessário. O resultado desta tarefa foi um conjunto de modelos BIM com diferentes níveis de informação necessários, onde o nível mais baixo (Nível 0) representa a forma do túnel através de uma casca regular com dimensões aproximadas e o nível mais alto (Nível 3) apresenta os detalhes e irregularidades dos seus elementos estruturais.

Por último, organizaram-se os elementos desenvolvidos nas tarefas anteriores na extensão BIM (tarefa 7) e implementou-se uma interface gráfica para simplificar o acesso, visualização, e manipulação dos modelos existentes no repositório por parte da IP (tarefa 8).

2.2. RECURSOS E MÉTODOS

A metodologia adotada neste projeto requereu a utilização de diversas ferramentas computacionais, nomeadamente (1) os aplicativos do Office Excel e Word para produzir documentação de suporte; (2) o sistema de gestão de bases de dados relacionais MySQL para criar a base de dados da extensão BIM; (3) a ferramenta ReCAP, para limpar e dizimar as nuvens de pontos fornecidas, (4) a biblioteca algorítmica Khepri (Sammer et al., 2019), para manipular e converter as nuvens de pontos em superfícies paramétricas com diferentes graus de detalhe geométrico, (5) as ferramentas de modelação da Autodesk AutoCAD, para gerar essas superfícies, e Revit, para gerar os modelos BIM dos túneis, (6) o ambiente de programação Dynamo, para automatizar tarefas de modelação e instanciação de objetos BIM, e (7) a linguagem de programação C# para desenvolver a extensão BIM.

Em termos das estratégias aplicadas, as tarefas 2 a 4 (normalização da informação e criação de PDTs e objetos BIM) apoiaram-se em elementos como: (i) a série ISO 19650; (ii) o sistema de classificação de informação construtiva SECClasS (Sustainability Enhanced Construction Classification System) adotado no contexto nacional; e (iii) no esquema normalizador de informação geométrica em vigor à data do projeto, nomeadamente o IFC4 ADD2 TC1. A tarefa 5 (implementação da biblioteca algorítmica para automatização de tarefas de modelação), baseou-se em estratégias de programação visual (Dynamo) e textual (Julia), e a tarefa 6 (modelação BIM dos túneis) aplicou estas estratégias na modelação dos objetos constituintes das infraestruturas em causa e no processamento da informação existente na base de dados.

2.3. RESULTADOS OBTIDOS

O cumprimento das tarefas anteriores originou os seguintes resultados:

- Uma base de dados central que sistematiza e coordena as diferentes fontes de informação da IP;
- Um conjunto de PDTs para normalizar os parâmetros associados a elementos ferroviários;
- Um conjunto de objetos BIM para representar elementos de túneis ferroviários;
- Um repositório de modelos BIM de túneis ferroviários com diferentes níveis de informação necessários;
- Uma extensão para a ferramenta Autodesk Revit para gerir o repositório de modelos BIM;
- Uma biblioteca algorítmica para automatizar tarefas de modelação e de processamento de dados.



Estes resultados prometem contribuir para uma gestão de ativos mais integrada. Dado o propósito de utilização da extensão BIM desenvolvida, estas vantagens vão ser mais evidentes nas tarefas de monitorização da componente estrutural dos túneis, assim como no planeamento de ações de inspeção, manutenção e reforço estrutural.

3. EXECUÇÃO

3.1. NORMALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO

Tal como referido na Secção 2, a implementação da extensão BIM envolveu a sistematização de diversas fontes de informação numa base de dados única. Dado o objetivo da extensão BIM em facilitar a visualização dessa informação através de modelos 3D dos túneis, foi também necessário definir:

1. Os elementos essenciais dos túneis e as suas relações composicionais com base no sistema de classificação SECCLasS e no esquema IFC4 ADD2 TC1;
2. Os níveis de informação necessários adequados para a modelação desses elementos tendo em conta o propósito de utilização do modelo;
3. Os formatos para a apresentação dos resultados obtidos;
4. A nomenclatura dos blocos de informação;
5. O sistema de unidades;
6. O processo de georreferenciação.

Parte do resultado deste processo é apresentado na Tabela 1, a qual identifica: (i) os elementos essenciais dos túneis considerados nos modelos; (ii) os níveis de informação necessários onde estes elementos são incluídos; e (iii) as respetivas classificações SECCLasS e tipologias *Industry Foundation Classes* (IFC). Tal como é visível na tabela, foi possível relacionar todos os elementos com produtos existentes no sistema de classificação SECCLasS, com exceção das anomalias, as quais foram classificadas como Ss_37_50. Como não existia uma classificação referente a estes elementos, procurou-se relacioná-los com o contexto dos túneis ferroviários. Ao nível do esquema IFC, atribuiu-se às anomalias a categoria genérica `ifcBuidingElementProxy`, uma vez que não existia um elemento construtivo que as representasse.

3.2. OBJETOS BIM

Paralelamente às diretrizes e documentação de apoio, desenvolveu-se um conjunto de objetos BIM para representar os elementos dos túneis representados nos modelos, os quais estão ilustrados na Tabela 2 nos diferentes níveis de informação necessários. A quantidade e o nome dos parâmetros atribuídos a cada objeto BIM dependeu da informação disponibilizada pela IP, o seu preenchimento sendo feito de forma automática e de acordo com a quantidade de informação estabelecida para cada nível de informação necessário.

A diferença entre objetos BIM nos diferentes níveis de informação necessários teve em conta o propósito de utilização (1) da extensão BIM, que visa suportar a monitorização e a inspeção da componente estrutural dos túneis digitalizados, e (2) dos modelos BIM gerados, os quais podiam servir apenas para visualizar o enquadramento do túnel ou inspecionar a sua estrutura. O primeiro ponto explica o fato das anomalias e das camadas de sustimento e betão projetado apresentarem maiores quantidades de informação e detalhe geométrico comparativamente aos restantes elementos do túnel, e.g., carris e balastro, em todos os níveis de informação necessários. O segundo ponto justifica as diferenças na representação do mesmo objeto BIM nos diferentes níveis de informação necessários, a sua geometria sendo mais simplificada quando o objetivo é apenas visualização e mais detalhada quando o objetivo é monitorizar o estado físico do elemento representado.



TABELA 1: Elementos essenciais dos túneis com os respetivos níveis de informação necessários, classificações e tipologias.

ELEMENTO	NÍVEL 0	NÍVEL 1	NÍVEL 2	NÍVEL 3	SECCLASS	IFC IFC4 ADD2 TC1
Camada de Sustimento	✓	✓	✓	✓	Pr_20_93_90 Pr_20_93_90_15	ifcSlabType
Camada de Betão Projetado		✓	✓	✓	Pr_20_31_16_84	ifcCoveringType
Plataforma	✓	✓	✓	✓	Pr_20_85_88 Pr_20_85_88_07 Pr_20_85_88_17	ifcSlabType
Carril		✓	✓	✓	Pr_20_76_70 Pr_20_76_70_30	ifcBeamType
Travessa			✓	✓	Pr_20_85_72 Pr_20_85_72_18 Pr_20_85_72_21 Pr_20_85_72_22 Pr_20_85_72_85 Pr_20_85_72_89	ifcBeamType
Anomalias		✓	✓	✓	Ss_37_50	ifcBuidingElementProxy
Nichos			✓	✓	Pr_20_93_52	ifcWallType
Catenária			✓	✓	Pr_65_72_60_56	ifcCableSegmentType
Zona de Testa				✓	Pr_20_93_52	ifcWallType
Terreno				✓	Pr_15_31_26	ifcSite

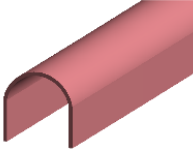
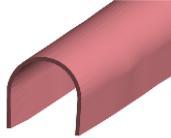
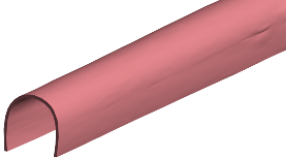
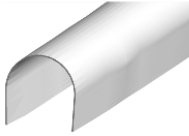

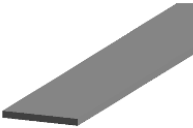

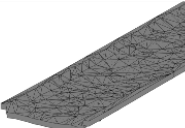
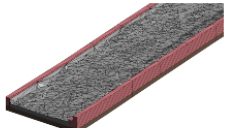

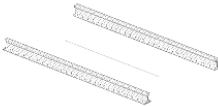




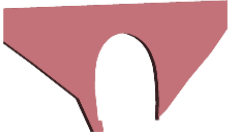

3.3. ESTRUTURA DE DADOS PDT

Os PDTs são estruturas de dados normalizados para produtos de construção. Estes normalizam a informação alfanumérica e a respetiva nomenclatura dos dados considerados relevantes para o acompanhamento do ciclo de vida dos produtos. Para a sua construção recorre-se a diversas fontes de informação como normas harmonizadas, declarações de desempenho de produtos, declarações ambientais de produtos e orientações internacionais do setor referente aos produtos em questão (Sibaii et al., 2022).

Tendo em consideração a inexistência de PDTs sobre produtos relacionados com a ferrovia a nível nacional e internacional, desenvolveu-se uma versão base para alguns destes elementos, nomeadamente, para a camada de sustimento, camada de betão projetado com fibras, carril, travessa, sistema de fixação do carril, balastro e anomalias. Estes PDTs foram desenvolvidos de acordo com as diretrizes estabelecidas nas recentes normas EN ISO 23387 e EN ISO 23386 relativas aos PDTs. Os referidos PDTs encontram-se atualmente disponíveis na plataforma online Portuguesa de PDTs (<https://pdts.pt/>), onde podem ser consultados e melhorados através dos contributos de especialistas do sector ferroviário. Desta forma o setor passa a ter uma referência normalizada sobre que informação alfanumérica poderá inserir dentro dos objetos BIM desenvolvidos dentro desta temática.



TABELA 2: Objetos BIM para representar os túneis ferroviários e as suas instâncias em diferentes níveis de informação necessários.

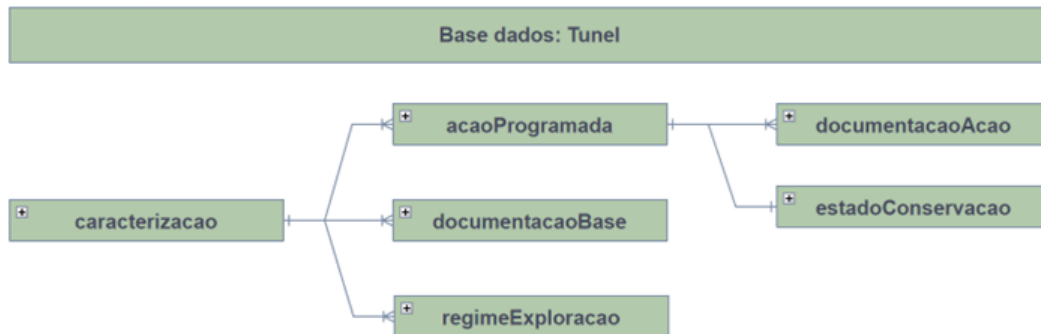
Objeto BIM	Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Camada de sustimento	 Geometria de secção uniforme ao longo do túnel.	 Geometria baseada em perfis simplificados e com espaçamentos de 3m.	 Geometria baseada em perfis mais detalhados e com espaçamentos de 1,5m.	
Camada de betão projetado		 Geometria baseada em perfis simplificados e com espaçamentos de 3m.	 Geometria baseada em perfis mais detalhados e com espaçamentos de 1,5m.	
Plataforma	 Plataforma representada por uma superfície uniforme.	 Plataforma representada pelas superfícies simplificadas do balastro, gerada a partir de perfis com espaçamentos de 6m.	 Plataforma representada por uma superfície a acompanhar as irregularidades do balastro.	 Plataforma composta pela fundação e o balastro do túnel a acompanhar as irregularidades existentes.
Sistema carril-travessa		 Representação do carril.	 Representação do carril e da travessa.	
Catenária				
Anomalia		 Anomalias representadas por ponto.	 Anomalias representadas de acordo com as suas características/tipologia.	
Muro de testa				
Nicho				



3.4. BASE DE DADOS

A base de dados que alimenta a extensão BIM foi estruturada de acordo com as necessidades operacionais da IP e os requisitos para o processamento da informação dentro da extensão BIM. O objetivo era centralizar toda a informação relevante para a gestão do sistema de túneis ferroviários da IP e para gerar os respetivos modelos BIM. Na Figura 2 apresentam-se as entidades que compõem a base de dados da extensão BIM.

FIGURA 2: Estrutura da base de dados gerida pela extensão BIM.



A entidade `caracterizacao` inclui informação sobre (1) a localização dos túneis, e.g., o concelho onde se localizam e as suas coordenadas geográficas; (2) a terminologia adotada, e.g., designação dos túneis e o ID da linha e troço ferroviário ao qual pertencem; e (3) as características físicas dos túneis, e.g., altura, largura e material da camada de sustimento.

A entidade `acaoProgramada` contém informação sobre as inspeções feitas aos túneis, as datas em que estas foram realizadas, e o estado de conservação da camada de sustimento dos túneis. Adicionalmente, esta entidade relaciona-se com a entidade `documentacaoAcao`, a qual disponibiliza as hiperligações para os relatórios das inspeções.

Por último, as entidades `documentacaoBase` e `regimeExploracao` incluem, no primeiro caso, hiperligações para elementos como peças escritas e desenhadas dos projetos, levantamentos topográficos e nuvens de pontos dos túneis e, no segundo caso, o tipo e data do regime de exploração em vigor.

As designações dos atributos da base de dados foram definidas tendo por base a informação disponibilizada pela IP, a qual estava armazenada em diferentes ficheiros e plataformas. Por exemplo, os dados relativos à localização do túnel e às suas dimensões foram apresentados num ficheiro PDF, a informação sobre o material das camadas de sustimento, o ID do troço e a existência ou não de eletrificação estava organizada num ficheiro Excel, e a informação relativa às inspeções estava distribuída por dois ficheiros, um em formato Excel e outro em formato DXF.

4. RESULTADOS

4.1. MODELOS E OBJETOS BIM

As tarefas descritas na Secção 3 serviram de base para a modelação BIM de um conjunto de túneis ferroviários, fornecendo a informação necessária para (1) a representação geométrica dos seus elementos essenciais, (2) a criação de objetos BIM com parâmetros adequados ao processo de gestão da IP, e (3) a integração de informação de acordo com o propósito de utilização dos modelos (neste caso a monitorização e manutenção estrutural dos túneis). O processo de modelação também beneficiou (4) dos objetos BIM para o contexto da ferrovia, e (5) da biblioteca algorítmica para processar e converter informação em elementos BIM.

Na prática, a informação existente na entidade `caracterizacao` é fornecida ao algoritmo Dynamo para criar e preencher os parâmetros essenciais do projeto no modelo BIM. Com exceção dos modelos de Nível 0, a nuvem de pontos do túnel é convertida numa superfície paramétrica através do algoritmo Scan-to-BIM, que por sua vez é

fornecida a um algoritmo Dynamo para gerar os elementos BIM das camadas de sustimento e betão projetado do túnel com o nível de informação necessário e os respetivos parâmetros preenchidos.

Em seguida, a informação disponível na entidade `acaoProgramada` é fornecida a outro algoritmo Dynamo para atribuir parâmetros e valores referentes às ações programadas realizadas a estas camadas (e.g. inspeções), como por exemplo as datas e os responsáveis por estas ações, dados descritivos sobre o estado de conservação da camada e a hiperligação para a documentação associada à ação. Por fim, as anomalias identificadas na camada de sustimento são modeladas através de outro algoritmo Dynamo tendo em conta o nível de informação necessário selecionado (Figura 3).

No caso do Nível 0, a volumetria do túnel é gerada automaticamente a partir do levantamento topográfico através de outro algoritmo Dynamo. A Figura 4 apresenta alguns dos modelos BIM gerados nos quatro níveis de informação necessários estabelecidos.

Adicionalmente, a biblioteca algorítmica também suporta a geração de dados relevantes para a manutenção e requalificação da componente estrutural dos túneis. Um exemplo é a possibilidade de se extrair automaticamente malhas de pontos para o dimensionamento de camadas de reforço estrutural.

FIGURA 3: Túnel modelado em Nível 1 (esquerda) e Nível 2 (direita).

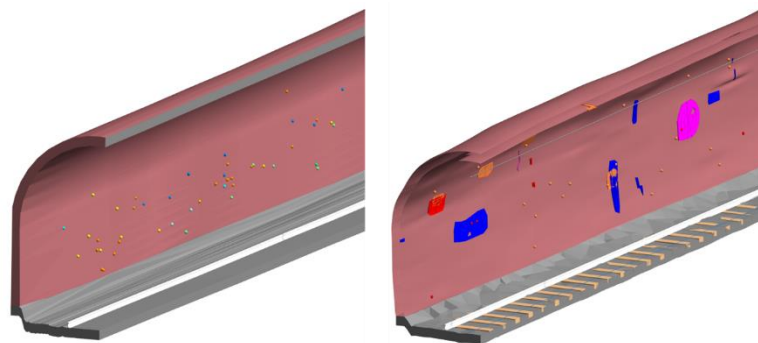
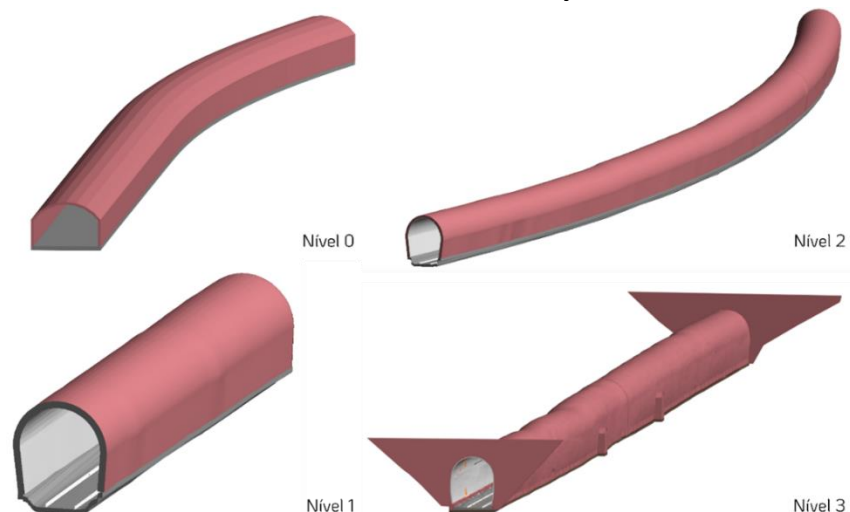


FIGURA 4: Quatro túneis modelados com diferentes níveis de informação necessários.

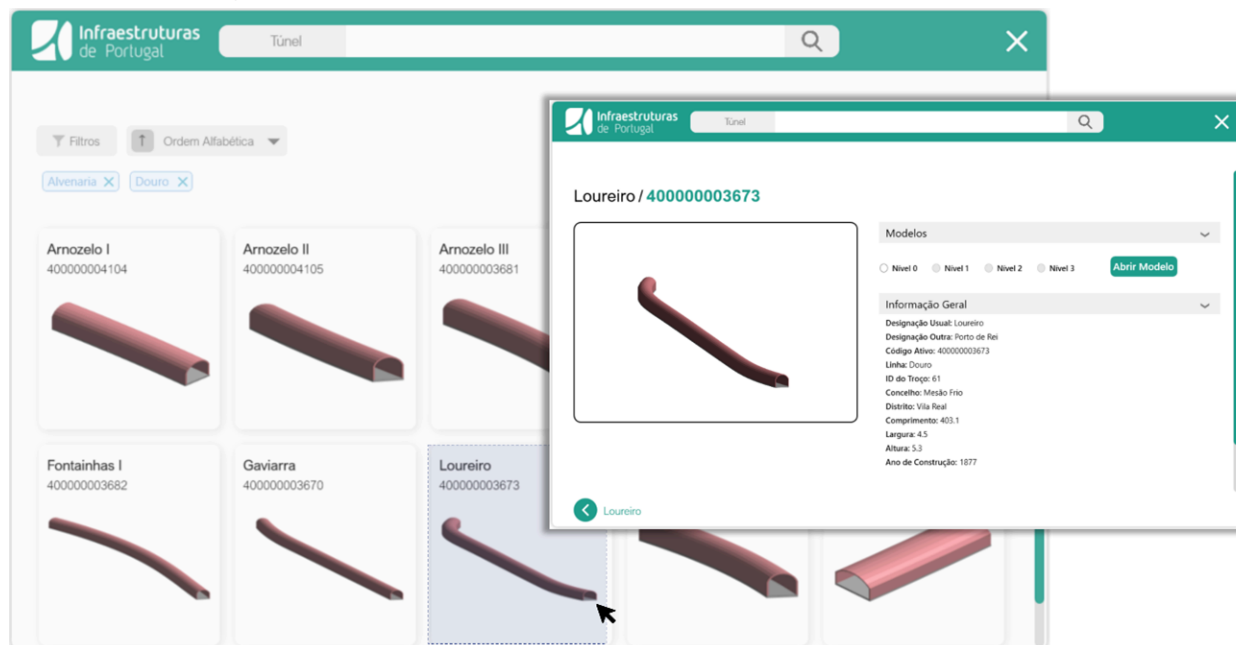


4.2. INTERFACE GRÁFICA

De modo a tornar o uso da extensão BIM mais intuitivo e acessível, desenvolveu-se uma interface gráfica para estabelecer a ligação entre a sua base de dados e o seu repositório BIM e a ferramenta Autodesk Revit. Para tal, utilizou-se a linguagem de programação C# e a framework de interfaces gráficas Windows Presentation Foundation (WPF) devido à sua compatibilidade com a API desta ferramenta.

A extensão BIM desenvolvida, acessível através da ferramenta Autodesk Revit, permite ao utilizador ter acesso a um menu inicial com a lista dos túneis existentes na base de dados e os respetivos modelos BIM (Figura 5). Ao selecionar um dos túneis dessa lista, o utilizador pode visualizar informação relativa a esse túnel, como por exemplo localização, dimensão, ID da linha, anomalias identificadas, entre outros, assim como descarregar o respetivo modelo BIM com diferentes níveis de informação necessários. Esta possibilidade permite ao utilizador navegar dentro do modelo BIM para inspecionar os seus elementos e consultar a informação nestes contida, assim como editar o modelo através da manipulação dos seus dados e dos elementos construtivos.

FIGURA 5: Interface gráfica da extensão BIM.



5. DISCUSSÃO

O projeto RoboShot@FRC teve como objetivo testar a integração da metodologia BIM no contexto da IP, identificando assim as vantagens desta metodologia nas atividades de gestão da empresa. Para tal, desenvolveu-se uma extensão BIM composta por um repositório de modelos BIM e uma base de dados de apoio, assim como uma biblioteca algorítmica para automatizar a modelação e o processamento desses dados tendo em conta atividades de monitorização estrutural. No sentido de facilitar a visualização e a manipulação do conteúdo da extensão BIM, implementou-se uma interface gráfica acessível através da ferramenta Autodesk Revit.

As vantagens da extensão BIM são diversas. Por um lado, a sistematização e a centralização de toda a informação relevante para a monitorização dos túneis garante uma gestão de dados mais eficiente e coordenada, eliminando trabalho duplicado e inconsistências. Por outro lado, a natureza gráfica da metodologia adotada e da sua implementação facilita não só a visualização dessa informação, mas também a sua interpretação e manipulação. Sendo o objetivo da extensão BIM monitorizar a componente estrutural dos túneis geridos pela IP, destacam-se as vantagens apresentadas em seguida.

5.1. PLANEAMENTO DE AÇÕES DE MANUTENÇÃO

A obtenção de modelos 3D com informação detalhada sobre o estado da componente estrutural do túnel, nomeadamente o tipo de anomalias existentes e as suas dimensões e localizações na camada de sustimento do túnel, e as ações programadas, e.g., inspeções periódicas e pontuais e intervenções de reforço, permite à IP inspecionar as anomalias existentes nos túneis e, com base nisso, ajustar o planeamento das inspeções periódicas e, eventualmente, agendar novas intervenções de reparação pontual ou de reforço estrutural. Dada a facilidade em integrar novos



dados nos modelos BIM da extensão, por exemplo levantamentos resultantes de inspeções ou intervenções de reparação ou reforço estrutural, é possível garantir a constante atualização da informação sobre o estado dos elementos estruturais dos túneis digitalizados. Isto permite controlar a sua evolução ao longo do ciclo de vida dos túneis, não só possibilitando a análise visual das anomalias existentes através dos modelos BIM, mas também facilitando o planeamento de inspeções e atividades de reforço estrutural.

5.2. INTERVENÇÕES ESTRUTURAIS

A existência de mecanismos para extrair informação relativa à camada de sustimento dos túneis, nomeadamente a forma detalhada das suas secções e a malha de pontos que descreve a sua superfície, aumenta a perceção sobre as características físicas destas camadas e as irregularidades nestas existentes ao longo de todo o comprimento do túnel. Isto facilita tarefas de cálculo estrutural e dimensionamento de camadas de reforço, permitindo definir a abrangência das intervenções necessárias (i.e., local ou integral) de forma mais informada e eficiente. Também permite gerir os recursos despendidos nestas intervenções, quer estes sejam humanos, temporais, ou materiais, de forma otimizada e sustentável.

Ao atualizar a informação relativa às intervenções planeadas, por exemplo, data da ação programada e custos associados, e à(s) camada(s) de reforço estrutural dimensionada(s), é possível gerar a(s) camada(s) de betão projetado no modelo 3D do túnel e associar-lhes os respetivos parâmetros de forma automática.

5.3. INTEGRAÇÃO DE NOVOS ATIVOS

A arquitetura da extensão BIM permite gerir um sistema de ativos de dimensão variável, facilitando, neste caso, a integração de novos túneis e, eventualmente, a remoção de túneis da base de dados. Esta possibilidade deve-se à flexibilidade da estrutura da base de dados, a qual foi desenhada para facilmente receber campos adicionais relativos a novos túneis ferroviários, e à existência de algoritmos para sincronizar o repositório BIM com a informação adicionada, automatizando a geração dos modelos correspondentes.

Note-se que a centralização da informação sobre infraestruturas em modelos BIM não é uma opção adequada para todo o tipo de dados. Em situações em que o volume de dados for significativamente maior ou quando houver dados cujo acesso esteja dependente de permissões a atribuir, entre outras, poderá ser necessário optar por um modelo de dados federado. Neste caso optou-se por uma arquitetura de dados centralizada de modo a simplificar a gestão do repositório de informação.

5.4. SINCRONIZAÇÃO E VISUALIZAÇÃO DE DADOS EM MODELOS BIM

A existência de um sistema centralizado de informação capaz de alimentar um repositório de modelos BIM de forma automática garante uma melhor sincronização entre diferentes tipos de dados, promovendo estratégias de gestão mais integradas e eficientes. Também permite atualizar o repositório de modelos BIM de acordo com novos dados obtidos em ações de levantamento e/ou inspeções ao túnel, assim como intervenções pontuais ou de reforço executadas. Por exemplo, a propagação de novos dados resultantes das ações programadas para os modelos BIM vai (1) originar novas anomalias na camada de sustimento dos túneis, (2) alterar as características das já existentes, ou até (3) criar novas categorias de anomalias ou parâmetros adicionais.

Adicionalmente, o uso da metodologia BIM facilita a visualização e a interpretação dos diferentes tipos de dados geridos pela extensão BIM, centralizando-os e relacionando-os em modelos digitais de fácil acesso a utilizadores com e sem experiência em modelação 3D. Isto permite a qualquer colaborador da IP navegar os modelos BIM de modo a inspecionar e a manipular a informação requerida. Qualquer alteração feita fica imediatamente disponível aos restantes colaboradores, garantindo assim decisões baseadas no estado mais atual dos túneis.



6. CONCLUSÃO

No sentido de melhorar o processo de gestão de ativos por parte da IP e testar as vantagens da metodologia BIM para atingir esse objetivo, desenvolveu-se uma extensão BIM para facilitar a partilha de modelos digitais dos ativos geridos por esta empresa contendo toda a informação necessária para a sua monitorização ao longo do ciclo de vida. A proposta de uma extensão baseada na metodologia BIM adveio da necessidade da IP de (1) centralizar e coordenar várias fontes de informação, como por exemplo levantamentos topográficos, nuvens de pontos, e dados recolhidos em inspeções, e (2) facilitar a visualização e a manipulação dessa informação através de modelos digitais partilhados.

Na prática, a extensão BIM permite que vários colaboradores acessem aos modelos para consultar a informação nestes inserida e, caso façam alterações, que estas fiquem disponíveis aos restantes colaboradores. A atualização constante dos modelos é crítica para garantir o acesso de todos os utilizadores à sua versão mais recente, minimizando assim potenciais erros e dessincronização de dados. Adicionalmente, a centralização e materialização de várias bases de dados em modelos 3D facilita não só a visualização e a interpretação desses dados, mas também a sua coordenação e manipulação, evitando trabalho duplicado e minimizando a ocorrência de erros e perdas de informação. Estas vantagens são críticas para suportar tomadas de decisão, assim como o planeamento de inspeções e intervenções ao longo do ciclo de vida dos ativos. Assim, é expectável que a extensão BIM apoie a melhoria dos processos de gestão de ativos por parte da IP, promovendo:

1. Uma representação atualizada e fidedigna das infraestruturas através da atualização automática da informação geométrica e alfanumérica inserida nos modelos, efetivamente originando *Digital Twins* dos túneis ferroviários;
2. Uma monitorização mais informada, prevenindo ocorrências indesejadas e antecipando a necessidade de intervenções;
3. Um planeamento mais realístico das atividades de manutenção e reforço, facilitando a consideração de vários cenários e a obtenção de previsões mais fidedignas;
4. A otimização dos recursos utilizados nas atividades de gestão e manutenção;
5. Estratégias de gestão mais preventivas e sustentáveis, reduzindo a ocorrência de situações extremas que necessitem de reparações mais dispendiosas.

Relativamente aos desafios encontrados durante o projeto, destacam-se as limitações do hardware disponível, principalmente no processamento e materialização das nuvens de pontos dos túneis em superfícies paramétricas e na modelação BIM de túneis muito irregulares e/ou extensos. Nestes casos, foi por vezes necessário sectionar os túneis em troços de modo a obter elementos como a camada de sustimento, plataforma e anomalias. Estas dificuldades refletem a necessidade de se definir o nível de informação necessário do modelo de acordo com o seu propósito de aplicação, evitando a geração de modelos com níveis de detalhe acima do necessário.

Em termos da aplicabilidade do protótipo desenvolvido no contexto da IP, este requer (1) a aquisição de software compatível com o seu uso, (2) conhecimento das ferramentas de modelação utilizadas para continuar a estender/atualizar o repositório, e (3) experiência mínima em abordagens algorítmicas de modo a beneficiar da biblioteca algorítmica desenvolvida.

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 (PRR — Investimento RE-C05-i02: Missão Interface — CoLAB); 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, e sob o Laboratório Associado 'Advanced Production and Intelligent Systems' (ARISE) com referência LA/P/0112/2020; pela FCT através da bolsa com referência MPP2030-FCT-2022 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

- Acerra, E., et al. (2022). Building Information Modeling (BIM) Application for a Section of Bologna's Red Tramway Line. *Infrastructures*, 7(12). <https://doi.org/10.3390/infrastructures7120168>
- Bensalah, M., Elouadi, A., & Mharzi, H. (2019). Overview: the opportunity of BIM in railway. *Smart and Sustainable Built Environment*, 8(2), 103–116. <https://doi.org/10.1108/SASBE-11-2017-0060Xu>
- Eastman, C., et al. (2008). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors* (1st edition), John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/2007029306>
- Evens, R. (2013). A review of computational optimisation methods applied to sustainable building design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 230–245. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.004>
- Garber, R. (2014). *UNStudio: Knowledge Architecture for a Life (Cycle)*. In *BIM Design: Realising the Creative Potential of Building Information Modelling*, 224–241, John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118914694.ch15>
- ISO 19650. (2018). *ISO 19650:2018(en) Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling*. ISO (the International Organization for Standardization).
- ISO 55000. (2014). *Asset management — Overview, principles and terminology* (Project Committee ISO/PC 251, Ed.). ISO (the International Organization for Standardization).
- Neves, J., Sampaio, Z., & Vilela, M. (2019). A Case Study of BIM Implementation in Rail Track Rehabilitation. *Infrastructures*, 4(1). <https://doi.org/10.3390/infrastructures4010008>
- Patrício, H. (2023). *Projeto Roboshot@FRC no 1.º WORKSHOP BIM/SIG*. https://www.infraestruturasdeportugal.pt/sites/default/files/inline-files/Roboshot%20Workshop_BIM_SIG_2023.pdf.
- Sammer, M., Leitão, A., & Caetano, I. (2019). From Visual Input to Visual Output in Textual Programming. In *Proceedings of the 24th CAADRIA Conference*, 645–654.
- Sharples, C. (2009). Unified frontiers: Reaching out with BIM. *Architectural Design Magazine*, 79(2), 42–47. <https://doi.org/10.1002/ad.849>
- Sibaii, M. E., et al. (2022). *Rumo à definição de 'Product Data Templates' nacionais para aplicação generalizada em contexto BIM: Esforços da CT197*. In B. Figueiredo, J. P. Martins, J. Granja, J. C. Lino, & M. Azenha (Eds.), *4.º congresso português de 'Building Information Modelling'*, 245–256, UMinho Editora.
- UN, U. N. (2015). *Sustainable Development Goals*. United Nations.
- Xu, X., Wang, G., Cao, D., & Zhang, Z. (2020). BIM Adoption for Facility Management in Urban Rail Transit: An Innovation Diffusion Theory Perspective. *Advances in Civil Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8864221>



Zhanping, S., et al. (2019). Research on management and application of tunnel engineering based on BIM technology. *Journal of Civil Engineering and Management*, 25, 785–797. <https://doi.org/10.3846/jcem.2019.11056>

Zhou, Y., et al. (2021). Research on Visual Management Technology of Tunnel Construction Process Based on BIM Technology. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2021/9738820>

DECLARAÇÃO ÉTICA

CONFLITO DE INTERESSE: Nada a declarar. **FINANCIAMENTO:** 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 (PRR — Investimento RE-C05-i02: Missão Interface — CoLAB); 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, e sob o Laboratório Associado ‘Advanced Production and Intelligent Systems’ (ARISE) com referência LA/P/0112/2020; pela FCT através da bolsa com referência MPP2030-FCT-2022 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. **REVISÃO POR PARES:** Dupla revisão anónima por pares.



Todo o conteúdo da **RAE — REVISTA DE ATIVOS DE ENGENHARIA** é licenciado sob [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.