

Proposta de modelos de dados de produto para túneis ferroviários

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.9>

**Mohamad El Sibaii¹, Débora Pinto²,
Luís Sanhudo², João Poças Martins^{2,3},
Hugo Patrício⁴, José Granja¹, Miguel Azenha¹**

*1 Universidade do Minho, Guimarães, 0000-0002-0810-9241 (MS),
0000-0002-0858-4990 (JG), 0000-0003-1374-9427 (MA)*

2 BUILTCLAB, Porto, 0000-0001-9468-7779 (DP), 0000-0002-2578-6981 (LS)

3 CONSTRUCT-FEUP, Porto 0000-0001-9878-3792 (JPM)

4 Infraestruturas de Portugal

Resumo

O presente trabalho está integrado no projeto RoboShot@FRC que tem como objetivo implementar uma nova geração de cabeça de projeção de Betão Reforçado com Fibras (BRF), suportada num braço robótico, para aplicação em túneis ferroviários. O suporte digital inerentemente necessário compreende o recurso a metodologias BIM, permitindo a padronização da troca de dados, e integração das inovações com propósitos de projeto, construção e gestão de ativos. Nesta vertente de padronização, o presente artigo foca-se no desenvolvimento e implementação de Modelos de Dados de Produto (na sigla inglesa PDTs – Product Data Templates), uma vez que ainda não existe uma proposta a nível nacional para túneis ferroviários. Os PDTs servem como estruturas organizadas que caracterizam minuciosamente a informação não-gráfica que pode ser de relevo em elementos indispensáveis em túneis ferroviários, como por exemplo: o carril, a travessa e o balastro. Neste artigo são ilustrados os procedimentos concretos adotados para a criação dos PDT dos seguintes produtos: balastro, travessa de betão, carris, sistema de fixação dos carris, betão projetado com fibras, camada de sustimento e anomalias na camada de sustimento. Explicam-se as principais fontes de informação tidas em conta, e a razão para as escolhas efetuadas. Com isto pretende-se contribuir para facilitar a divulgação e discussão destes PDTs em particular, que já se encontram disponíveis no website PDTs.pt, aptos para implementação prática.

1. Introdução

A construção e reabilitação ferroviária apresentam desafios únicos no sector das infra-estruturas. A natureza complexa dos sistemas ferroviários, envolvendo carris, pontes, túneis e sistemas de sinalização, exige um planeamento cuidadoso para garantir uma integração e funcionalidade perfeitas. Problemas comuns na construção ferroviária incluem a necessidade de alinhamento e nivelamento precisos dos carris, abordando questões de estabilidade dos terrenos e garantindo a integridade estrutural de pontes e túneis. Além disso, a manutenção é um aspeto crítico, com fatores como o desgaste, as condições ambientais e a natureza dinâmica das operações ferroviárias que colocam desafios contínuos. No meio destes desafios, o setor das infraestruturas ferroviárias está a passar por uma transformação digital significativa, tal como muitos outros setores da indústria da construção. Esta evolução é sublinhada pela adoção imperativa de metodologias “*Building Information Modeling*” (BIM) [1, 2].

No processo de digitalização e adoção da metodologia BIM, há uma procura crescente por representações digitais precisas de produtos de construção. A geração desses modelos digitais é facilitada pela utilização de classes/instâncias de objetos BIM, que servem como representações digitais de produtos, sistemas ou vários elementos de construção. Essas representações devem abranger informações exaustivas, incluindo, mas não se limitando a, desempenho, sustentabilidade, manutenção para além dos dados de geometria [3]. A qualidade dos objetos BIM está intimamente ligada à qualidade das informações associadas, que impactam a sua usabilidade pelos diversos intervenientes ao longo das diferentes fases dos processos de projeto e construção [4, 7].

Os dados associados a produtos de construção devem abranger diversos tipos de informações prescritas por diferentes intervenientes em diferentes momentos do ciclo de vida de um empreendimento. Uma parte dessas informações é estipulada na Europa pela diretiva *Construction Products Regulation* (CPR) por meio das Declarações de Desempenho (DoP). Dependendo da classe do produto, essas declarações seguem padrões europeus harmonizados, levando, em última instância, à aplicação da marcação CE. O desafio reside na definição e padronização dos dados necessários, no formato correto dentro dos objetos BIM que representam esses produtos. Esse processo tem-se mostrado particularmente árduo. É essencial que os objetos BIM sigam condições específicas de qualidade e nomenclatura de informações, facilitando a interoperabilidade com IFC (*Industry Foundation Classes*), ao mesmo tempo em que estejam alinhados com padrões/diretrizes estabelecidos para objetos BIM [8], e levando em consideração as informações necessárias para uma fase específica do empreendimento [4, 9].

Nos últimos anos, foram emitidos vários padrões e diretrizes para apoiar a definição dos requisitos de dados de modelos/objetos BIM ao longo de seu ciclo de vida. Como exemplo, menciona-se a atividade do comitê CEN/TC442, que emitiu as normas EN ISO 23386:2020 [10], EN ISO 23387:2020 [11] e EN17412-1:2020 [12] sobre

Modelos de Dados de Produto e Nível de Informação Necessário. No entanto, esses padrões são inerentemente genéricos, não fornecendo informações específicas para padronizar dados alfanuméricos para materiais/produtos de construção e, portanto, não são diretamente aplicáveis aos processos quotidianos na indústria. Este esforço de concretização adicional é algo que é relegado para cada país/contexto padronizar de acordo com as suas realidades locais. Além disso, na literatura existem inúmeros trabalhos sobre a normalização de dados na indústria da construção, mas existe uma lacuna significativa na definição dos requisitos precisos de dados dos produtos de construção [4, 9, 13, 16].

Os Modelos de Dados de Produto (PDTs) contribuem de maneira central para a solução dos desafios mencionados [17]. A ISO 23387 define 'Modelos de Dados' como estruturas de dados normalizadas e interoperáveis usadas para descrever as características de produtos de construção, sistemas e objetos. Os Modelos de Dados apoiam os dados de objetos/produtos de construção garantindo a troca de informações legíveis por máquina entre todas as partes envolvidas ao longo do ciclo de vida.

Tendo em conta os desafios ao nível dos PDTs da ferrovia, particularmente no contexto nacional, qualquer iniciativa relacionada com a digitalização deverá de forma consistente abordar estas problemáticas. É precisamente por isso que o presente artigo aborda os PDTs para a ferrovia, em virtude das inerências ao projeto RoboShot@FRC, que tem como objetivo aprimorar e modernizar a construção e reabilitação de túneis ferroviários usando cabeças de projeção avançadas de Betão Reforçado com Fibras (FRC) montadas em braços robóticos. Um dos principais desafios dentro do projeto é o manuseio e integração de diversas fontes de dados, dada a natureza dinâmica dessa área.

Para atender a essa necessidade, este artigo centra-se no desenvolvimento e implementação de PDTs para aprimorar a consistência, precisão e confiabilidade na gestão de informações cruciais para a construção e reabilitação de túneis. Serão, neste contexto, propostos PDTs especializados para elementos ferroviários, nomeadamente: balastro, travessa de betão, carris, sistema de fixação de carris, betão projetado com fibras, camada de sustimento e anomalias na camada de sustimento. Esses modelos serão desenvolvidos seguindo as últimas normas e iniciativas, proporcionando uma abordagem estruturada para organizar, trocar e gerir informações relacionadas à construção ferroviária. Estes PDTs normalizarão os dados para os elementos modelados, facilitando a interoperabilidade entre as partes interessadas. Além disso, ajudarão as partes interessadas a compreender claramente as necessidades de dados durante o troca de informações. As seções seguintes delineiam a metodologia empregada para a criação dos PDTs e culminam na apresentação de modelos de dados de produtos.

2. Modelos de dados de produto para infraestrutura ferroviária

O artigo publicado por Sibaii et al. [18] apresentou uma metodologia padronizada para a criação de modelos de dados de produtos, que foi utilizada neste artigo para a criação de PDTs relacionados ao transporte ferroviário. O artigo mencionado também fornece uma visão profunda sobre a definição de PDTs, iniciativas existentes relacionadas a PDTs e uma visão dos padrões relacionados a PDTs.

Seguindo o método de criação de PDT, o primeiro passo na criação de um PDT é a recolha de parâmetros. Os parâmetros podem ser recolhidos de várias fontes e, portanto, devem ser comparados entre si numa única matriz para garantir que os parâmetros sejam únicos. Os parâmetros em diferentes fontes podem ter nomenclaturas diferentes, mas o mesmo significado. Consequentemente, a etapa de comparação e normalização elimina a redundância e repetição. Uma vez decidida uma lista final de parâmetros, esta é organizada em categorias, como dados geométricos, dados de desempenho, dados de sustentabilidade, etc. Pode consultar-se um exemplo dessa matriz em Sibaii et al. [18].

As propostas de PDTs deste artigo incluem uma parte do Modelo de Dados Principal comum a todos os produtos de construção, que está disponível na plataforma mencionada [19]. Esta parte do PDT inclui as seguintes categorias de dados: geral; classificação; geométrico; fabricante; e dados de sustentabilidade com base na EN ISO 22057:2022 [20]. Assim sendo, para os PDTs aqui propostos, a análise será centrada nas partes específicas a cada PDTs criado (balastro, travessa de betão, carris, sistema de fixação de carris, camada de sustimento e anomalias na camada de sustimento).

Na Tabela 1, são apresentadas as fontes de dados utilizadas na criação dos PDTs listados. Como observado, as fontes de informação mais relevantes são as normas EN que regem os requisitos para elementos de construção na construção. É uma fonte válida de dados, mas combinada com outras fontes de dados relevantes, podem ser recolhidas outras propriedades importantes para melhorar a qualidade dos PDTs e garantir que contenham informações relevantes para diferentes intervenientes que utilizam o PDT, como conjuntos de propriedades IFC, entrevista com especialistas e fichas técnicas de fabricantes.

Neste trabalho, as entrevistas com especialistas foram realizadas com técnicos da Infraestruturas de Portugal, que estão habituados a trabalhar com este tipo de elementos no seu quotidiano e conhecem bem as suas terminologias e a utilidade dos seus dados.

Tabela 1: Fontes de dados para PDTs mostrando os números de propriedades em cada fonte

PDT	Fonte de Dados				
	Normas EN	Conjuntos de propriedades IFC	Entrevista c/ Especialistas	Fichas Técnicas	Outros PDTs
Balastro	16		2		
Carril	27*	9	9*		
Travessa de betão	31*	12	4		31*
Sistema de Fixação			8*	8*	
Camada de sustimento	13				81
Betão Projetado com fibras	33				
Anomalias			8		

* Propriedades vêm de duas fontes combinadas

A coleta de parâmetros para o PDT de elementos ferroviários não foi uma tarefa simples, pois os recursos são escassos e poucas fontes contêm informações sobre elementos ferroviários, pois não se trata de um produto de construção comum como: portas, vigas, entre outros. As fontes NBS, Natspec Property Generator e ETIM não permitiram obtenção de informação específica para túneis/ferrovia. Consequentemente, foi necessária uma pesquisa mais profunda para encontrar recursos para esses elementos. Uma fonte significativa que foi explorada é o esquema IFC 4.3, previsto para ser publicado pela ISO em 2024, disponível na plataforma buildingSMART [21]. Nesta versão foi desenvolvido o domínio “IFC Rail” e foi possível encontrar propriedades para os elementos Carril e Travessa de betão nos conjuntos de propriedades Pset_TrackElementTypeSleeper, Pset_TrackElementOccurrenceSleeper e Pset_RailTypeRail.

Além disso, foram consideradas várias normas para a coleta de dados. Por exemplo: foi considerada a EN13674-1 para o elemento Carril, a EN 1996-1-1:2005 para a parte de alvenaria da camada do sustimento e a EN 206 para a parte de betão, e a BS EN 14487-2:2006 para o elemento Betão Projetado com fibras. Também foram considerados documentos técnicos para alguns modelos de dados como as “Especificações Técnicas Para Fornecimento De Balastro Novo” das Infraestruturas de Portugal para o elemento balastro, e documentos técnicos de produtores de sistemas de fixação ferroviária para o modelo de dados do sistema de fixação [22].

De seguida foram analisados os PDTs já disponíveis na base de dados da plataforma PDTs.pt. Por exemplo, para o PDT da camada do sustimento, o PDT foi criado para acomodar propriedades relacionadas a ‘rocha’, ‘betão’ e ‘alvenaria’ dependendo do material da construção. As propriedades relacionadas com as rochas foram derivadas do PDT já existente para sondagens geotécnicas [23], e as propriedades relacionadas com a alvenaria foram derivadas do PDT para ‘tijolo’ (ambos já disponíveis na plataforma pdts.pt). Em relação às propriedades do betão, foi analisado o modelo de dados de betão pré-fabricado [24], e foram encontradas propriedades relevantes relacionadas com betão e o reforço/armadura, nomeadamente através das seguintes normas: EN 15037-1:2008, EN 13225:2013, EN 13369:2013, e EN 1520:2011.

Após a coleta de todas as propriedades, os dados passaram por um processo de normalização, onde as propriedades com o mesmo significado são colocadas em uma única linha de uma folha de cálculo numa matriz de propriedades e as suas nomenclaturas são comparadas (ver Tabela 2). É então selecionado um nome único para representar cada propriedade nos PDTs. A seleção do nome e do seu formato segue as diretrizes estabelecidas pelas regras para modelação de objetos BIM, criadas no âmbito da atividade da CT197 [25].

A Tabela 2 mostra a seção da matriz relacionada à seleção de propriedades, múltiplas propriedades podem ser adicionadas à matriz de qualquer fonte, mas avançando e com base na opinião de especialistas, apenas as propriedades relevantes serão selecionadas (verde) e as demais serão descartadas (vermelho). Neste exemplo, o especialista descartou a propriedade "Rail Length" e "Description", uma vez que ambas podem ser referenciadas a propriedades no modelo de dados principal, mencionado anteriormente, sob os nomes "NominalLength" e "Description". Depois de selecionada uma lista final de propriedades, as mesmas foram traduzidas para a língua portuguesa, uma vez que estes modelos de dados estão a ser criados para o contexto português.

Uma vez finalizada a lista de propriedades, estas foram organizadas conforme o formato sugerido na EN ISO 23387. Para cada propriedade no modelo de dados, foram definidos o nome da propriedade, o grupo, a unidade, a quantidade, os valores do tipo enumerado e o documento de referência (ver Tabela 3). Em seguida, a EN ISO 23386 fornece um conjunto predefinido de atributos para propriedades e grupos de propriedades, e esses atributos devem estar ligados às propriedades no PDT criado. Esta etapa garantirá que as propriedades num modelo de dados sejam rastreáveis no caso de ocorrer alguma alteração na propriedade, como uma alteração de nome ou descrição, ou uma alteração no método de obtenção.

Tabela 2: Parte da matriz das propriedades do carril

EN13674-1	IFC	Entrevista c/ Especialistas	Propriedade (Inglês)	Propriedade (Português)
	PositionInTrack		PositionInTrack	PosicaoNaVia
	TechnicalStandard		TechnicalStandard	PadraoTecnico
	RailDeliveryState		RailDeliveryState	EstadoDeEntregaDe-Carril
	RailCondition		RailCondition	CondicaoDoCarril
		Rail Length Description	Rail Length Description	- -
hydrogen content		Levels of hydrogen	HydrogenContent	ConteudoHidrogenio
Total oxygen		Levels of oxygen	TotalOxygen	OxigenioTotal
Decarburisation		Decarburiza- tion	Decarburisation	Descarburacao
Hardness (HBW)		Hardness	Hardness	Dureza
Tensile strength		Tensile resistance	TensileStrength	ForcaDeTracao
Section modulus – Head			SectionModulusHead	ModuloSeccaoCabeca
Section modulus – Base			SectionModulusBase	ModuloSeccaoBase
Moment of inertia y-y axis			MomentOfIner- tiaYYAxis	MomentoDeInerciaEi- xoYY
Section modulus y-y axis			SectionModu- lusYYAxis	ModuloSeccaoEixoYY

Finalmente, para abrir uma porta de comunicação com outros especialistas na indústria e receber feedback sobre os modelos de dados, e efetuar as alterações necessárias no futuro, conforme as recomendações da EN 23386, os PDTs foram adicionados à base de dados da plataforma PDTs.pt (ver Figura 1).

Tabela 3. Estrutura (parcial) do Modelo de Dados de Produto para o Carril conforme a EN ISO 23387

Propriedade	Unidade	Descrição	Documento de referência
Dados geométricos			
ModuloSeccaoCabeca	cm ³	O módulo de secção é uma propriedade geométrica de uma secção transversal que mede a sua resistência à flexão.	EN 13674-1:2003
ModuloSeccaoBase	cm ³	O módulo de secção é uma propriedade geométrica de uma secção transversal que mede a sua resistência à flexão.	EN 13674-1:2003
MomentoDeInerciaEixoYY	cm ⁴	Propriedade física de um objeto que descreve a sua resistência à rotação em torno do eixo dos y-y.	EN 13674-1:2003
ModuloSeccaoEixoYY	cm ³	O módulo de secção é uma propriedade geométrica de uma secção transversal que mede a sua resistência à flexão em torno do eixo dos y-y.	EN 13674-1:2003
(...)	(...)	(...)	(...)
Dados de especificação			
Dureza	Sem unidade	Gamas de dureza dos tipos de aço (Exemplo: 260 a 300).	EN 13674-1:2003
ForcaDeTracao	MPa	A resistência à tração refere-se à quantidade máxima de tensão de tração que um material pode suportar sem se partir ou sofrer uma deformação permanente.	EN 13674-1:2003
PosicaoNaVia	Sem unidade	Indica a posição relativa do elemento na via, que fica à esquerda ou à direita ao olhar na direção dos valores crescentes de estação.	-
PadraoTecnico	Sem unidade	O padrão técnico que o elemento deve cumprir.	-
(...)	(...)	(...)	(...)
Dados químicos			
Nitrogenio	%	Percentagem de massa de nitrogénio na composição química do carril.	EN 13674-1:2003
ConteudoHidrogenio	10 ⁻⁴ % ppm	Conteúdo de hidrogénio.	EN 13674-1:2003
OxigenioTotal	10 ⁻⁴ % ppm	Conteúdo total de oxigénio.	EN 13674-1:2003
Descarburacao	mm	Não deve ser observada nenhuma rede fechada de ferrite abaixo de 0,5 mm de profundidade, medida em qualquer ponto da superfície da cabeça do carril.	EN 13674-1:2003
(...)	(...)	(...)	(...)

PDTs.pt Home PDTs Documentação API Participantes Contactos

Os Modelos de Dados dos Produtos

Imagem	Nome	Versão	Data		
	Balastro	V1.1.1 Activa	2023-11-01	VER	REVISÃO
	Carril	V1.1.1 Activa	2023-11-01	VER	REVISÃO
	Sistema de fixação	V1.1.1 Activa	2023-11-01	VER	REVISÃO
	Travessa Monobloco Betao	V1.1.1 Activa	2023-11-01	VER	REVISÃO
	Camada de sustimento	V1.1.1 Activa	2023-11-01	VER	REVISÃO

Figura 1
Análise dos resultados obtidos nas três etapas.

3. Conclusão

A normalização dos dados dos componentes da infraestrutura ferroviária é crucial para a melhoria dos processos BIM neste domínio. Este trabalho apresentou um método normalizado para digitalizar dados relacionados aos principais componentes da infraestrutura ferroviária usando PDTs. Foram desenvolvidos Modelos de Dados de Produto para balastro, betão projetado reforçado com fibras, travessa de betão, carris, sistema de fixação de carris, camada de sustimento e anomalias na camada de sustimento.

O processo de coleta de dados para esses elementos construtivos levantou vários desafios dentre eles a escassez de recursos para coleta de dados. O desafio foi superado por meio de normas relacionadas, fichas técnicas do fabricante, PDTs relacionados e entrevistas com especialistas. Em seguida, o processo de normalização foi realizado e as propriedades relativas foram selecionadas para os modelos de dados. Além disso, os PDTs foram criados de forma a cumprir as mais recentes normas relacionadas com PDTs, ISO EN 23386 e ISO EN 23387.

Finalmente, a consulta a mais profissionais da indústria para melhorar o modelo de dados será possível por meio da plataforma de consulta PDTs.pt. Este será um passo fundamental para legitimar as propostas e melhorá-las, rumo a versões das mesmas que tenham condições para aceitação geral pela indústria especializada, e portanto assegurar a sua implementação prática com vantagens para todos.

Agradecimentos

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, no âmbito do acordo de concessão MPP2030-FCT-2022 atribuído ao primeiro autor. É 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; 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; 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. É ainda parcialmente financiado pelo PRR – Plano de Recuperação e Resiliência e União Europeia – www.recuperarportugal.gov.pt (PRR – Investimento RE-C05-i02: Missão Interface – CoLAB). O apoio financeiro do projeto REV@Construction também é reconhecido.

Referências

- [1] A. Sharafat, M. S. Khan, K. Latif, & J. Seo, BIM-Based Tunnel Information Modeling Framework for Visualization, Management, and Simulation of Drill-and-Blast Tunneling Projects. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 35 (2020) 04020068. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000955](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000955).
- [2] G. Wang & Z. Zhang, BIM implementation in handover management for underground rail transit project: A case study approach. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 108 (2021) 103684. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103684>.
- [3] A. Pavan, C. Mirarchi, G. Amosso, L. M. Nesa, D. Pasini, B. Daniotti, & S. L. Spagnolo, BIMReL: A new BIM object library using Construction Product Regulation attributes (CPR 350/11; ZA annex). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 296 (2019). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012052>.
- [4] M. Cassano & M. L. Trani, LOD Standardization for Construction Site Elements. *Procedia Engineering*, 196 (2017) 1057-1064. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.062>.
- [5] J. C. P. Cheng, W. Chen, K. Chen, & Q. Wang, Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms. *Automation in Construction*, 112 (2020) 103087. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103087>.

- [6] L.Joblot,T.Paviot,D.Deneux,& S.Lamouri,Literature review of Building Information Modeling (BIM) intended for the purpose of renovation projects. *IFAC-Papers On-Line*, 50 (2017) 10518–10525. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1298>.
- [7] H. Kim, Z. Shen, H. Moon, K. Ju, & W. Choi, Developing a 3D intelligent object model for the application of construction planning/simulation in a highway project. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20 (2016) 538-548. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0463-4>.
- [8] NBS, NBS BIM Object Standard. (2019).
- [9] S. Palos, A. Kiviniemi, & J. Kuusisto, Future perspectives on product data management in building information modeling. *Construction Innovation*, 14 (2014) 52-68. <https://doi.org/10.1108/CI-12-2011-0080>.
- [10] EN ISO 23386, EN ISO 23386:2020 – Building information modelling and other digital processes used in construction – Methodology to describe, author and maintain properties in interconnected data dictionaries. (2020). <https://www.iso.org/standard/75401.html> (accessed March 15, 2021).
- [11] EN ISO 23387, EN ISO 23387:2020 - Building information modelling (BIM) – Data templates for construction objects used in the life cycle of built assets – Concepts and principles. (2020). <https://www.iso.org/standard/75403.html> (accessed March 15, 2021).
- [12] EN 17412-1, Building Information Modelling - Level of Information Need - Part 1: Concepts and principles. (2020).
- [13] B. Succar & E. Poirier, Lifecycle information transformation and exchange for delivering and managing digital and physical assets. *Automation in Construction*, 112 (2020) 103090. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103090>.
- [14] R. Kebede, A. Moscati, & P. Johansson, Semantic web for information exchange between the building and manufacturing industries: a literature review. (2020) 248-265.
- [15] M. Hooper, *BIM Anatomy II: Standardization needs & support systems* (2015).
- [16] K. Duddy, S. Beazley, R. Drogemuller, & J. Kiegeland, a Platform-Independent Product Library for Bim. *30th CIB W78 International Conference*, (2013) 389-399.
- [17] M. Pedro, D. Calvetti, E. Hjelseth, & S. Hipólito, Incremental Digital Twin Conceptualisations Targeting Data-Driven Circular Construction. *Buildings*, 11(11) (2021) 554. <https://doi.org/10.3390/buildings11110554>.

- [18] M. El Sibaii, J. Granja, R. R. Ribeiro, P. Meda, R. Resende, J. dos Santos, P. L. Martins, A. A. Costa, J. P. Martins, & M. Azenha, Rumo à definição de 'Product Data Templates' nacionais para aplicação generalizada em contexto BIM: Esforços da CT197. *4.º congresso português de 'Building Information Modelling' vol. 2 – ptBIM*, (2022) 245-256. <https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.21>.
- [19] PDTs.pt, PDTs. (2021). <https://pdt.pt/> (accessed November 9, 2022).
- [20] EN ISO 22057, EN ISO 22057 - Sustainability in buildings and civil engineering works – Data templates for the use of EPDs for construction products in BIM. (2022).
- [21] buildingSMART, IFC Schema Specifications – buildingSMART Technical. (2020). <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/> (accessed May 7, 2021).
- [22] Vossloh, Vossloh Home | Vossloh AG. (n.d.). <https://www.vossloh.com/en/products-and-solutions/products-at-a-glance/schienenbefestigungssysteme/> (accessed December 27, 2023).
- [23] M. El Sibaii, J. Granja, L. Bidarra, & M. Azenha, Towards Efficient Bim Use of Geotechnical Data From Geotechnical Investigations. *Journal of Information Technology in Construction*, 27 (2022) 393–415. doi: 10.36680/j.itcon.2022.019.
- [24] M. El Sibaii, R. Rocha Ribeiro, R. Dias, J. R. Pinto, J. Granja, & M. Azenha, Towards Standardization of Data for Structural Concrete: Product Data Templates. In A. Jędrzejewska, F. Kanavaris, M. Azenha, F. Benboudjema, & D. Schlicke, eds., *Synercrete'23 - Int. RILEM Conf. Synerg. Expert. Towar. Sustain. Robustness Cem. Mater. Concr. Struct.* (Cham: Springer Nature Switzerland, 2023), pp. 263-275.
- [25] SECCLasS, Regras de modelação de objetos BIM | SECCLasS. (2021). <https://sec-class.pt/relatorios/regras-de-modelacao-de-objetos-bim/> (accessed December 29, 2021).