

Transformação digital na indústria da construção: Capacitando a gestão de dados através de uma plataforma de modelos de dados de produtos (PDT)

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.7>

**Mohamad El Sibaii¹,
José Granja¹, Miguel Azenha¹**

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

Resumo

A indústria da construção está a passar por uma transformação profunda impulsionada pela adoção generalizada do BIM (Building Information Modeling), que vai além dos projetos arquitetónicos e cronogramas. Essa abrange uma alteração profunda das práticas de gestão de dados. Num artigo da edição anterior do ptBIM, foi apresentado o papel crucial dos Modelos de Dados de Produtos (PDT) neste processo de digitalização, onde a gestão eficaz de dados de construção assume especial destaque, foi apresentado. Estes permitem harmonizar a grande e complexa quantidade de dados na indústria da construção. Nesse artigo é apresentada uma evolução da plataforma para exibição e revisão de PDT a nível nacional. Com base nesse trabalho e em resposta aos mais recentes desenvolvimentos nas normas relacionadas aos PDT e dicionários de dados, essa plataforma passou por grandes mudanças na sua estrutura de base de dados, quadro de programação e disponibilização de dados. Nesse contexto, é apresentada a nova plataforma, construída em Laravel e MySQL, constitui o alicerce da gestão confiável de dados e do rastreamento de dados sem interrupções. Alinhada com as rigorosas normas das EN ISO 23386 e 23387, não apenas capacita a partilha de modelos de dados e as auscultação da indústria sobre estes modelos, mas também se integra com aplicações externas através de uma API. Em suma, esta plataforma representa um passo em frente – um ecossistema abrangente para dados de construção.

1. Introdução

A indústria de arquitetura, engenharia e construção (AEC) está a adotar rapidamente tecnologias e processos digitais, sendo que o Building Information Modelling (BIM) assume um papel crucial nesta transformação [1]. O BIM envolve a criação e gestão de modelos 3D inteligentes contendo dados detalhados de construção ao longo de todo o ciclo de vida do projeto. Contudo, para aproveitar plenamente esses modelos virtuais, a indústria necessita de estruturas sólidas de gestão de dados que assegurem a troca contínua de dados entre diversos intervenientes [2–4].

A interoperabilidade de dados na construção é fundamental, pois promove a colaboração e comunicação harmoniosas entre os vários intervenientes, facilitando uma compreensão unificada das informações do projeto [5–7]. Isso melhora a eficiência, reduz erros e promove uma abordagem holística, garantindo que sistemas diversos possam trocar e utilizar dados de forma harmoniosa ao longo do ciclo de vida da construção. No entanto, o cenário da construção está repleto de inconsistências em relação aos dados de produtos de construção [8–11]. Isso pode levar a interpretações incorretas, erros e ineficiências, prejudicando a tomada de decisões eficaz e a colaboração entre os intervenientes. A padronização é crucial, pois fornece uma estrutura uniforme para os dados, garantindo coerência e compatibilidade entre diversas fontes, melhorando assim a confiabilidade e precisão das informações essenciais para projetos de construção bem-sucedidos [12–14]. Os dados associados aos produtos de construção devem encapsular vários dados técnicos, de sustentabilidade, manutenção e desempenho, definidos por diversas entidades [15]. Muitos destes dados do produto são exigidos por enquadramentos regulatórios aplicáveis, como a marcação CE na UE, que se materializam na Declaração de Desempenho (DoP) [16] e na Declaração Ambiental do Produto (EPD) [17].

Num artigo anterior [15], os autores explicaram como estes desafios podem ser abordados através do papel crucial da definição de Modelos de Dados de Produto (PDT), que são definidos pela EN ISO 23387 como estruturas normalizadas e interoperáveis de dados utilizadas para descrever as características dos produtos, sistemas e objetos de construção. O artigo investiga a intrincada rede de normas desenvolvidas pelo comité de normalização CEN/TC 442, centrando-se nas duas principais normas de PDT e dicionário de dados EN ISO 23387 e EN ISO 23386, respetivamente. A EN ISO 23387 fornece estruturas de dados padronizadas denominadas PDT para a troca de informações de produtos de construção em formato legível por máquina. Por outro lado, a EN ISO 23386 fornece diretrizes para a redação de definições padronizadas de propriedades e a criação de dicionários interconectados contendo tais definições. Neste contexto, o dicionário de dados buildingSMART (bsDD) é um serviço exemplar e aberto para a partilha de dicionários de dados, que apoia a criação de domínios conformes com a norma EN ISO 23386 [18].

Além disso, o artigo também destaca o papel de outras normas relacionadas sobre gestão de dados, como troca de dados usando IFC (prEN 17549-1), definição do Nível de Informação Necessário (EN 17412-1) e a definição de PDT com base em

Declarações Ambientais do Produto (EPD) (EN ISO 22057:2022, publicado pouco depois da publicação do artigo) [19–24]. Além disso, analisou as iniciativas existentes em matéria de normalização de dados e PDT no sector, concluindo que algumas plataformas fornecem conjuntos normalizados de propriedades para produtos de construção, mas não aderem às normas PDT mencionadas [25–26], enquanto outros, como o CoBuilder, LEXiCON e a comissão SN/K 374 na Noruega, estão a trabalhar no desenvolvimento de PDT em conformidade com os últimos padrões. No entanto, até à data, nenhum deles disponibiliza um acesso aberto ao sector. Alguns trabalhos na literatura abordam a normalização utilizando PDT [1–2–5–10–27], mas não disponibilizam conjuntos alargados de PDT para uso geral [13–28–29].

Perante esta oportunidade, o artigo [15] propôs um método normalizado de criação de PDT e uma plataforma de consulta e revisão de PDT abertos para o contexto português, alinhando-se com as estipulações da EN ISO 23386 sobre a criação de dicionários de dados à escala nacional. No entanto, a plataforma desenvolvida e apresentada no artigo [15] apresentava algumas limitações, nomeadamente: (i) capacidade limitada de versionamento, (ii) escalabilidade muito difícil devido à falta de uma estrutura de código padronizada, (iii) falta de conformidade da estrutura da base de dados com os padrões do PDT, (iv) ausência de *gateways* API para conexão com aplicações e plugins, e (v) não alinhamento com a base de dados do bsDD que permitiria a migração do domínio PDT para o seu servidor.

Para colmatar estas limitações, neste artigo é apresentada uma atualização da plataforma de código aberto. A plataforma anterior foi objeto de uma reestruturação significativa da sua base de dados MySQL para estar em conformidade com as normas de PDT EN ISO 23386 e EN ISO 23387, bem como com a estrutura da base de dados bsDD. A estrutura da plataforma foi completamente reorganizada para seguir a estrutura normalizada do Laravel, para permitir a escalabilidade, simplificar as interações com a base de dados e melhorar a organização do front-end. Esta plataforma de consulta de PDT dá à indústria acesso a PDT padronizados totalmente em conformidade com EN ISO 23386 e EN ISO 23387. Por último, foi acrescentada uma característica importante, que é a criação de portas de acesso API para a interação direta entre aplicações/plugins e a base de dados. A plataforma permite que os intervenientes na construção acedam, utilizem, discutam e aprimorem PDT, promovendo uma maior precisão de dados, compatibilidade, interoperabilidade e transparência.

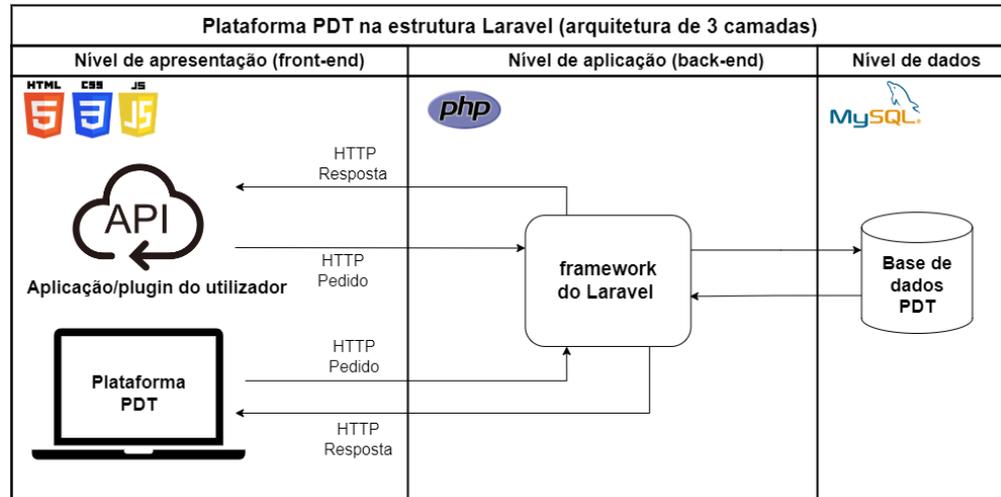
2. Plataforma de Consulta de PDT

2.1. Arquitetura da Plataforma de PDT

A plataforma foi construída utilizando a linguagem de programação PHP para criar os scripts essenciais que facilitam a comunicação entre a plataforma e a sua base de dados subjacente. Para aumentar a robustez e escalabilidade da plataforma foi decidido utilizar o *framework* Laravel que é conhecido pela sua eficácia no desenvolvimento de plataformas web baseadas em PHP. Em termos de armazenamento

e gestão de dados, a plataforma utiliza uma base de dados em MySQL, um sistema confiável de banco de dados relacional. Arquitetonicamente, a plataforma adota um *framework* estruturado de 3 níveis, incorporando níveis distintas de apresentação, aplicação e dados, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1
A arquitetura de 3 níveis da plataforma.



No nível de apresentação, são utilizadas as tecnologias HTML, CSS e JavaScript para criar uma interface de utilizador (UI). O mecanismo de modelação Blade simplifica o desenvolvimento da UI, incorporando hereditariedade para uma definição estética consistente. Esta nível abrange páginas essenciais dedicadas à listagem, visualização, download, comentários, revisão de PDs e à documentação da API. Também incorpora gestão de utilizadores e configurações de perfil. Na nível de aplicação, o PHP, em conjunto com o *framework* Laravel, acciona o processamento no lado do servidor. O roteador mapeia eficazmente os URLs para ações do controlador, gerindo pedidos do utilizador e construindo as respostas. Os controladores integram-se com os modelos renderizando vistas conforme necessário. As funcionalidades de middleware do Laravel garantem autenticação segura para acesso restrito, protegendo o sistema. APIs personalizadas melhoram ainda mais a troca estruturada de dados. A nível de dados depende do MySQL e do Mapeamento Objeto-Relacional (ORM) do Laravel para a gestão robusta de dados relacionais. O esquema é cuidadosamente projetado, incorporando tabelas normalizadas para armazenar PDT, grupos de propriedades, propriedades individuais e dicionários interligados. O uso de migrações permite a alteração da estrutura da base de dados sem o risco de perda de dados.

2.2. Alinhando o modelo de dados da plataforma com as normas do PDT

A arquitetura da base de dados MySQL da plataforma é elaborada de forma cuidadosa para se alinhar com as normas estabelecidas tanto na EN ISO 23387 quanto na EN ISO 23386. A EN ISO 23387 auxilia na estruturação dos PDT, onde estrutura os PDT de forma que cada PDT esteja conectado à Propriedades e os Grupos de Propriedades.

As Propriedades também são conectadas e agrupadas pelos Grupos de Propriedades. Além disso, cada elemento da estrutura do PDT está conectado a um documento de referência. Enquanto a EN ISO 23386 capacita a base de dados a funcionar perfeitamente como um dicionário de dados dedicado para abrigar informações de PDT. Isto significa que as propriedades e Grupo de Propriedades estão ligados a conjuntos de atributos retirados da norma EN ISO 23386, que auxiliam na gestão e autoria destes elementos. Essa dupla aderência aos padrões garante uma representação sistemática e coesa dos PDT dentro da plataforma, conforme representado na Figura 2.

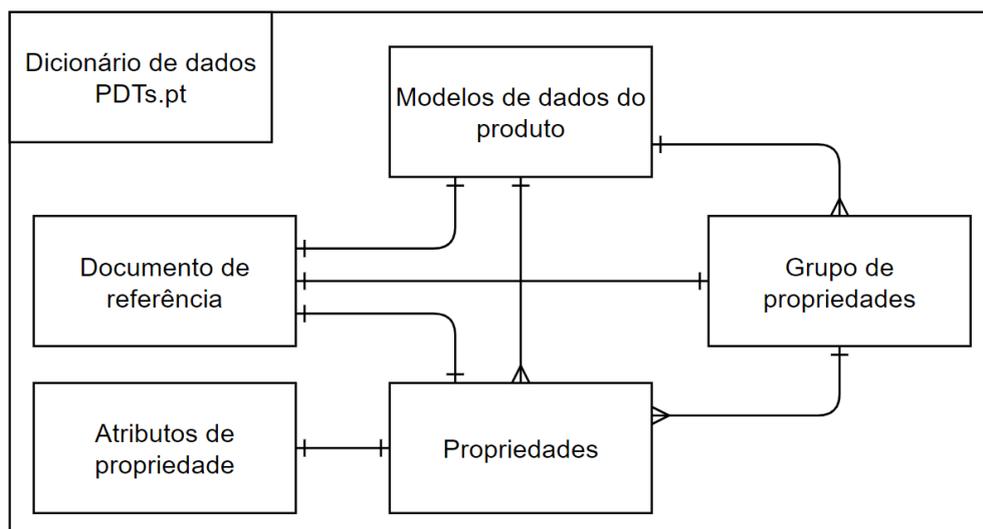


Figura 2
Modelo de dados da plataforma de PDT.

A EN ISO 23387 enfatiza a organização de propriedades em grupos, oferecendo assim uma metodologia abrangente para capturar dados relacionados ao produto. Essa abordagem é crucial para a criação de estruturas de dados coesas e significativas, permitindo uma representação holística das informações do produto. A plataforma segue diligentemente essa estrutura, garantindo que os modelos de dados do produto estejam conectados a grupos de propriedades e propriedades por meio de uma relação de um para muitos. Os grupos de propriedades estão conectados a propriedades com uma relação de um para muitos. Os Modelos de dados do produtos, os grupos de propriedades e as propriedades estão conectados a documentos de referência numa relação de um para um.

Paralelamente, a plataforma também está em conformidade com as especificações da EN ISO 23386, que governa principalmente a criação e gestão de dicionários de dados dentro do domínio. A EN ISO 23386 define conjuntos específicos de atributos a serem vinculados a grupos de propriedades e propriedades. Os atributos do grupo de propriedades estão dentro da tabela de Grupo de Propriedades, e os atributos das propriedades são colocados numa tabela dedicada. A inclusão dos atributos da propriedade numa tabela dedicada permite que uma propriedade tenha uma descrição geral na tabela de atributos e uma descrição específica no contexto do PDT em que a propriedade está inserida, quando a mesma propriedade é utilizada em vários PDT.

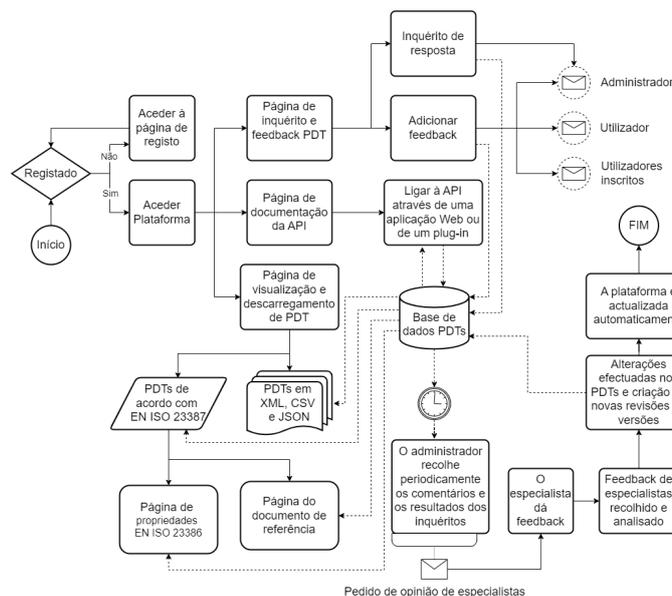
Além disso, a base de dados permite a definição de múltiplas versões de propriedades, mantendo um registo das versões mais antigas. O mesmo se aplica a modelos de dados de produtos e grupos de propriedades. A criação de novas revisões ou versões segue as recomendações definidas na EN ISO 23386. Este recurso permite que os PDT, grupos de propriedades e propriedades antigas permaneçam disponíveis após serem descontinuados. Isso permite que os utilizadores da plataforma rastreiem versões mais antigas e façam referência a elas em projetos onde versões mais antigas de um PDT foram usadas.

Um atributo de particular importância é o Identificador Único Global (GUID) atribuído a cada propriedade, o que aprimora a legibilidade por máquina, facilita a interoperabilidade eficiente de dados e a conexão com outros dicionários de dados. Além desses componentes estruturais, a plataforma incorpora tabelas para Respostas e Comentários, facilitando feedback colaborativo sobre PDT. Essa funcionalidade colaborativa capacita os utilizadores a contribuir com seus comentários e sugestões, promovendo assim uma cultura de melhoria contínua em conformidade com as diretrizes da EN ISO 23386.

2.3. Fluxo de Trabalho e Interface do Utilizador da Plataforma PDT

A plataforma PDT, PDTs.pt, apresenta uma interface amigável e intuitiva, projetada para otimizar a experiência do utilizador e simplificar a gestão de dados para PDT de construção. Aqui, é apresentada uma visão geral do fluxo de operação da plataforma e das principais características e funcionalidades disponíveis para os utilizadores. A página inicial da plataforma contém informações sobre o que são PDT, sobre a iniciativa, e os utilizadores podem consultar as entidades envolvidas nesta iniciativa e aceder ao formulário de contato sem fazer login. Após o registo, o acesso é concedido às páginas relacionadas aos PDT, conforme visto na Figura 3.

Figura 3
Fluxo de operação da plataforma PDT.



A página principal de Listagem de PDT apresenta aos utilizadores uma lista abrangente das versões mais recentes dos PDT disponíveis na base de dados, com dois botões ao lado de cada PDT, Visualizar ou Comentar. Clicar no botão Visualizar encaminha os utilizadores para a página de visualização detalhada apresentando os grupos de propriedades do PDT e as propriedades com as suas unidades, descrições e documentos de referência. No topo da página de Visualização de PDT, há três botões para descarregar o PDT em formato CSV, TEXTO e JSON. Essa funcionalidade é essencial para utilizadores que desejam extrair o PDT para uso e preenchimento sem necessidade de trabalhar com a API (ver Figura 4 (esquerda)).

Ao clicar no botão Comentar na página principal do PDT, o utilizador é levado à página de revisão e comentário, onde os utilizadores podem fornecer feedback por meio de comentários sobre propriedades nos PDT. Os utilizadores também podem responder aos comentários de outros utilizadores criando um ambiente para compartilhamento de conhecimentos e opiniões. Outra característica importante desta página é a secção de recolha de opiniões, onde os utilizadores podem rapidamente dar uma opinião sobre se usam uma propriedade ou não, seleccionando Sim, Não ou Sem opinião. Quando vários especialistas partilham as suas opiniões sobre um PDT, os dados podem então ser analisados e utilizados para fazer alterações nos PDT. Receber essas informações para propriedades num PDT ajudará a fornecer uma visão sobre propriedades importantes e destacar propriedades que não são importantes para a indústria (ver Figura 4 (direita)).

Viga de madeira v1.1.1 (Ativa)

Propriedade	Unidade	Descrição	Documento de referência
—Grupo de propriedades - Dados geométricos			
Vão	mm	Vão livre do fuste para a engiçoa estática. ex. 8000	n/a
Curvatura	deg	O ângulo de curvatura da viga. Ex. 5	n/a
AreaSeccaoTransversal	m ²	Área da secção transversal da viga. ex. 0.06	n/a
AreaSuperficieExterior	m ²	A superfície lateral da viga, a área da secção transversal no início e no fim da viga não é tida em conta. ex. 8	n/a
AreaSuperficieLiquida	m ²	Superfície líquida da viga, todas as aberturas e reentrâncias são deduzidas da área da superfície ex. 8.06	n/a

Download buttons: JSON, CSV/XML, TXT

Viga de madeira v1.1.1 (Ativa)

Propriedade	Unidade	Descrição	Documento de referência	Quisição	Comentários
—Grupo de propriedades - Dados geométricos					
Vão	mm	Vão livre do fuste para a engiçoa estática. ex. 8000	n/a	<input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não <input type="radio"/> Sem opinião	Comentários (0)
Curvatura	deg	O ângulo de curvatura da viga. Ex. 5	n/a	<input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não <input type="radio"/> Sem opinião	Comentários (0)
AreaSeccaoTransversal	m ²	Área da secção transversal da viga. ex. 0.06	n/a	<input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não <input type="radio"/> Sem opinião	Comentários (0)
AreaSuperficieExterior	m ²	A superfície lateral da viga, a área da secção transversal no início e no fim da viga não é tida em conta. ex. 8	n/a	<input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não <input type="radio"/> Sem opinião	Comentários (0)

Figura 4
Página de Visualização e Download (esquerda), Revisão e Comentários (direita).

Em toda a plataforma, todas as propriedades têm um hiperlink para uma página que mostra os atributos das propriedades no dicionário de dados, com base na EN ISO 23386. A maioria dos valores dos atributos é inserida manualmente pelo utilizador na base de dados, no entanto, alguns atributos são recuperados usando consultas MySQL. De acordo com as diretrizes da EN ISO 23386, alguns atributos das propriedades são calculados e não necessariamente fornecidos pelos utilizadores. Um exemplo são os atributos "Lista de propriedades substituídas" e "Lista de propriedades substitutas", que indicam as versões anteriores e novas da propriedade em questão. As versões das propriedades nesses atributos tem um hiperlink para levar à página dos atributos da propriedade seleccionada (ver Figura 5 (esquerda)). No final desta página, uma tabela mostra todos os PDT que incluem essa propriedade e suas versões. Essas informações são consultadas na base de dados e também tem um hiperlink para levar aos PDT mencionados.

As *gateways* da API da plataforma podem ser encontradas na página "Documentação da API" acessível na barra de navegação. Nesta página, há uma lista de *gateways* de API com uma descrição dos dados enviados pela plataforma após o *gateway* ser questionado (ver Figura 5 (direita)). Finalmente, a plataforma é projetada para enviar notificações aos administradores da plataforma quando respostas e comentários são adicionados aos PDT. Além disso, as respostas e comentários dos utilizadores são coletados e analisados periodicamente, enviados a especialistas para feedback, e então alterações são feitas de acordo nos PDT.

Figura 5
Página de atributos da propriedade mostrando os atributos (esquerda), Gateways da API conforme exibido na plataforma PDT (direita).

Vao - V1.1 Ativa

GUID	65f226d5022e4488a0edf34c637447a0
Nome En	Span
Nome Pt	Vão
Descrição En	Clear span of the beam for the static requirement. ex. 8000
Descrição Pt	Vão livre do fexke para a exigência estática. ex. 8000
Unidades	mm
Estado	Active
Data de criação	2022-06-05
Data de ativação	2022-06-05
Data da última alteração	2022-06-05
Data de revisão	2022-06-05
Data da versão	2022-06-05
Versão	1
Revisão	1
Lista de propriedades substituídas	
Lista de propriedades de substituição	

API de Modelos de Dados de Produtos

Obter Template de Dados de Produtos

Retorna o modelo de dados do produto com o ID especificado, com grupos de propriedades, propriedades, atributos de propriedades do dicionário de dados e documentos de referência relevantes.

GET /api/{pdtID}

Obter Todos os Modelos de Dados de Produtos

Retorna todos os templates de dados de produtos.

GET /api/productDataTemplates

Obter Conteúdo do Dicionário de Dados

Retorna o dicionário de dados para os templates de dados de produtos.

GET /api/data@dictionary

Obter uma propriedade do Dicionário de dados

Retorna uma propriedade e seus atributos do dicionário de dados.

GET /api/data@dictionary/{id}

3. Conclusão

No panorama em evolução da indústria da construção, a adoção da digitalização, particularmente através do BIM, representa uma mudança de paradigma. Um dos principais desafios encontrados nesta transição é a complexidade dos dados de construção e a necessidade de uma gestão eficaz. A resolução destes desafios torna-se imperativa, e o papel dos Modelos de Dados de Produtos (PDT) surge como um fator crucial neste processo de digitalização. No entanto, a adesão às normas PDT, como a EN ISO 23386, EN ISO 23387, EN ISO 22057 e os requisitos de dados especificados pelos guias de objetos BIM e os requisitos da indústria, como a marcação CE e as EPD, representam um obstáculo significativo. O cumprimento destes critérios rigorosos exige uma abordagem metódica à gestão de dados. Numa publicação anterior dos autores [15], foi proposto um método normalizado para a criação de PDT para ajudar os profissionais a criar PDT que cumpram as normas da indústria e uma plataforma para PDT. No entanto, essa plataforma foi objeto de alterações profundas para garantir a sua conformidade com as normas emergentes dos PDT.

A plataforma nova, construída em Laravel e MySQL, cumpre a norma EN ISO 23387, alinhando a estrutura da base de dados da plataforma com a estrutura que propõe. Também está em conformidade com a norma EN ISO 23386, ligando conjuntos específicos de atributos propostos na norma às propriedades e grupos de propriedades, facilitando a rastreabilidade, a interoperabilidade com outros domínios através da utilização de GUID e permitindo um controlo de versões dos PDT. Além disso, a plataforma fornece um canal de recolha de opiniões para receber comentários do sector sobre os PDT, em conformidade com as orientações da norma EN ISO 23386. Por

último, a plataforma permite a integração com aplicações e plugins externos através de *gateways* API designados. A plataforma proposta oferece um ecossistema abrangente para dados de construção. Ao fornecer uma base fiável para a gestão de PDT, aborda os desafios colocados pela digitalização no sector da construção. As capacidades da plataforma, incluindo uma base de dados robusta, fluxos de feedback colaborativos e integração de API, posicionam-na como um meio para uma utilização de dados eficiente, exata e interligada.

Agradecimentos

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, no âmbito do acordo de subsídio MPP2030-FCT-2022 atribuído ao 1.º autor. Também é parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da Unidade de I&D Instituto de Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE), sob a referência UIDB/04029/2020 ; 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. O apoio financeiro dos projetos REV@Construction e RecycleBIM também é reconhecido.

Referências

- [1] 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>.
- [2] 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>.
- [3] 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>.
- [4] L. Joblot, T. Paviot, D. Deneux, & S. Lamouri, Literature review of Building Information Modeling (BIM) intended for the purpose of renovation projects. *IFAC-PapersOnLine*, 50 (2017), 10518-10525. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1298>.
- [5] M. N. Lucky, D. Pasini, & S. Lupica Spagnolo, Product Data Management for Sustainability: An Interoperable Approach for Sharing Product Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 296 (2019). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012053>.

- [6] J. Wu, H. L. Sadraddin, R. Ren, J. Zhang, & X. Shao, Invariant Signatures of Architecture, Engineering, and Construction Objects to Support BIM Interoperability between Architectural Design and Structural Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147 (2021) 04020148. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001943](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001943).
- [7] J. Wu & J. Zhang, New Automated BIM Object Classification Method to Support BIM Interoperability. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 33 (2019) 04019033. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000858](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000858).
- [8] S. L. Spagnolo, G. Amosso, A. Pavan, & B. Daniotti, BIMReL: The Interoperable BIM Library for Construction Products Data Sharing. *Research for Development*, (2020) 37-47. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33570-0_4.
- [9] G. Gudnason & P. Pauwels, SemCat: publishing and accessing building product information as linked data. S. Christodoulou, R. Scherer (Eds.), *eWork Ebus. Archit. Eng. Constr. Proc. 11th Eur. Conf. Prod. Process Model. (ECPPM 2016)*. CRC Press. (2016), pp. 659-666.
- [10] R. Kebede, A. Moscati, & P. Johansson, Semantic web for information exchange between the building and manufacturing industries: a literature review. (2020) 248-265.
- [11] A. Tomczak, L. V. Berlo, T. Krijnen, A. Borrmann, & M. Bolpagni, A review of methods to specify information requirements in digital construction projects. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* (2022). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/9/092024>.
- [12] 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.
- [13] M. Hooper, *BIM Anatomy II: Standardization needs & support systems* (2015).
- [14] R. Almeida, L. Chaves, M. Silva, M. Carvalho, & L. Caldas, Integration between BIM and EPDs: Evaluation of the main difficulties and proposal of a framework based on ISO 19650:2018. *Journal of Building Engineering*, 68 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106091>.
- [15] 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. *4º congresso português de 'Building Information Modelling' vol. 2 – ptBIM*, (2022) 245-256. <https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.21>.

- [16] Europa, CE marking. (n.d.). https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index_en.htm (accessed March 15, 2021).
- [17] EPD, EPD International. (n.d.). <https://www.environdec.com/home> (accessed July 20, 2021).
- [18] buildingSMART, buildingSMART Data Dictionary. (2021). <https://www.buildingsmart.org/users/services/buildingsmart-data-dictionary/> (accessed May 31, 2021).
- [19] 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).
- [20] 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).
- [21] M. Signorini, S. Frigeni, & S. L. Spagnolo, Integrating environmental sustainability indicators in BIM-based product datasheets. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 296 (2019). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012028>.
- [22] prEN 17549-1, Building Information Modelling (BIM) - Information structure based on EN ISO 16739 1:2018 to exchange data templates and data sheets for construction objects – Part 1: Data templates and configured construction objects. (n.d.).
- [23] 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). https://standards.cencenelec.eu/dyn/www/f?p=CEN:110:0:::FSP_PROJECT,FSP_ORG_ID:71864,481830&cs=1E1BB3916E7E70C84AFC181AD83D1D85B (accessed December 27, 2023).
- [24] EN 17412-1, Building Information Modelling – Level of Information Need – Part 1: Concepts and principles. (2020).
- [25] CIBSE, The BIMHawk Toolkit | Published PDTs. (2023). <https://www.bimhawk.co.uk/pdtlist2.php> (accessed September 15, 2023).
- [26] NBS, NBS Source. (n.d.). <https://source.thenbs.com/> (accessed Feb. 7, 2023).
- [27] 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>.

- [28] 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>.
- [29] K. Duddy, S. Beazley, R. Drogemuller, & J. Kiegeland, a Platform-Independent Product Library for Bim. *30th CIB W78 International Conference*, (2013) 389-399.