

DEMONSTRAÇÃO DE WORKFLOW OPEN SOURCE PARA MODELAÇÃO HBIM – EXEMPLO DE APLICAÇÃO A UMA FORTIFICAÇÃO COSTEIRA

Carlos Serra⁽¹⁾, Maria João Correia⁽²⁾, Maria João Henriques⁽³⁾, Dora Roque⁽⁴⁾, Hugo Silva⁽⁵⁾, António Antunes⁽⁶⁾, António Santos Silva⁽⁷⁾

(1) LNEC, Lisboa, 0000-0003-0656-9313

(2) LNEC, Lisboa, 0000-0001-6170-8166

(3) LNEC, Lisboa, 0000-0001-8982-3967

(4) LNEC, Lisboa, 0000-0002-2140-3541

(5) LNEC, Lisboa

(6) LNEC, Lisboa, 0000-0001-7707-9202

(7) LNEC, Lisboa, 0000-0001-8002-0682

Resumo

A aplicação de metodologias HBIM (*Heritage Building Information Modeling*) à documentação e gestão do património cultural construído tem vindo a ganhar relevância. Neste trabalho apresentam-se *workflows* genéricos para o apoio à digitalização e modelação HBIM de uma fortificação costeira, utilizando ferramentas de *software open source*, desenvolvidos no âmbito do projeto “*Advancing FrontTier Research In the Arts and hUManities*” (ATRIUM) financiado pela União Europeia.

O processo inicia-se com o levantamento geométrico através de *laser scanning*, seguido da geração de nuvens de pontos e do seu pós-processamento.

A modelação da geometria é realizada com base na interpretação arquitetónica dos dados obtidos, respeitando as características construtivas e morfológicas do edifício e os principais elementos estruturais, que são individualizados como objetos BIM. O modelo pode ser enriquecido com dados históricos, incluindo informação sobre os materiais de construção, os dados e resultados de ensaios e os registos de intervenções anteriores. Esta informação do património histórico está acessível no sistema DB-HERITAGE, o que permite uma representação holística e multidisciplinar do ativo patrimonial.

Estes *workflows* visam promover a acessibilidade e a reprodutibilidade de processos HBIM em contextos com recursos limitados, enquanto asseguram a qualidade e a acessibilidade da informação. A abordagem proposta contribui para a valorização do património construído, facilitando a sua conservação, gestão e comunicação entre técnicos, investigadores, entidades públicas e o público em geral.

1. Introdução

O Heritage Building Information Modeling (HBIM) representa uma adaptação especializada do Building Information Modeling (BIM) à medida da arquitetura histórica. Esta metodologia facilita a integração de diversas fontes de dados, tais como levantamento laser, fotogrametria e investigação arquivística, em ambientes paramétricos [1]. Embora o BIM tenha estabelecido procedimentos padronizados para construções modernas, a sua aplicação ao património construído continua a ser um campo de investigação em evolução [2]. O HBIM oferece um potencial significativo para várias aplicações, incluindo monitorização do estado de conservação, gestão, planeamento de manutenção preventiva, análise de opções de intervenção e apoio aos esforços de conservação e restauro do património.

A digitalização de edifícios históricos, particularmente complexos como as fortificações costeiras, começa frequentemente com levantamentos arquitetónicos abrangentes. Técnicas como a digitalização por laser 3D terrestre e a fotogrametria digital são cruciais para a captura da geometria precisa destes edifícios [2]. Estes métodos geram vastas quantidades de dados fundamentais para a criação de um modelo 3D, que pode ser incorporado num fluxo de trabalho HBIM. No entanto, estes edifícios históricos apresentam frequentemente desafios únicos, tais como formas irregulares, espessuras de parede não homogéneas, desvios e falta de perpendicularidade, que complicam o processo de modelação. Estas complexidades exigem um planeamento cuidadoso do processo Scan-to-HBIM para garantir que o modelo resultante reflita com precisão o objeto existente.

Um aspeto-chave do HBIM é a incorporação de atributos correspondentes a partir de bases de dados históricas [2] para além da representação geométrica. Esta integração permite um modelo enriquecido com informação que vai além da mera representação visual. A criação de uma base de dados robusta, com elementos personalizáveis, é essencial para responder às necessidades específicas do património histórico no contexto HBIM. No entanto, o desenvolvimento de bibliotecas dedicadas que incorporem elementos arquitetónicos, especificamente, para edifícios históricos, e os procedimentos scan-to-BIM são ainda limitados, tornando a modelação manual uma necessidade frequente. Neste trabalho, a modelação geométrica foi realizada manualmente, reconhecendo as limitações atuais dos processos automatizados para estruturas patrimoniais complexas, especialmente dadas as suas formas orgânicas ou altamente intrincadas. Enquanto os avanços na segmentação e IA para automatização da modelação estão a surgir, particularmente, para certos tipos de edifícios, a sua aplicação generalizada e robusta às características únicas do património histórico, tais como as fortificações costeiras, ainda está nos seus estágios iniciais.

Este artigo demonstra um fluxo de trabalho de código aberto para modelação HBIM, com foco na digitalização de uma fortificação costeira. Detalha os procedimentos de modelação geométrica derivados de dados de captura da realidade por laser, bem como o enriquecimento do modelo através da integração de informações provenientes de uma base de dados de património existente. O objetivo é mostrar uma abordagem prática para o desenvolvimento de um modelo HBIM que possa servir como uma ferramenta valiosa para os estudos do património, facultando acesso aos benefícios que o BIM traz para a conservação e gestão destes importantes ativos históricos, tal como assinalado por [2].

A metodologia HBIM adotada neste trabalho baseia-se na utilização ferramentas *open source*, seguindo o *workflow* genérico desenvolvido no âmbito do projeto “*Advancing FrontTier Research In the Arts and hUManities*” (ATRIUM) (<https://marketplace.sshopencloud.eu/>)

workflow/rnzX2P). O ATRIUM é um projeto de investigação, que reúne quatro Consórcios Europeus de Infraestruturas de Investigação (ERIC): DARIAH (artes e humanidades), ARIADNE (arqueologia), CLARIN (idiomas) e OPERAS (comunicação académica em acesso aberto nas ciências sociais e humanas), envolvendo, também, vários parceiros e entidades afiliadas de 12 países europeus, tem como principal objetivo contribuir de forma inovadora para a consolidação e expansão de serviços e práticas padronizadas, que visam melhorar o acesso aos dados, aumentar a qualidade dos metadados nos catálogos e repositórios e alargar o acesso da investigação a diversas comunidades na Europa, bem como estabelecer processos de capacitação para utilização de métodos digitais na investigação (<https://marketplace.sshopencloud.eu/workflow/rnzX2P>).

2. Workflows open source para modelação HBIM

2.1 Levantamento de nuvem de pontos utilizando laser scanning

O *laser scanner* (LS) terrestre é uma das tecnologias mais utilizadas para a digitalização de edifícios de valor patrimonial, dada a sua versatilidade para levantamento tanto de espaços interiores como exteriores, a elevada densidade de pontos registados, a precisão milimétrica do posicionamento dos pontos e a velocidade de aquisição. O facto de permitir aliar a geometria das nuvens de pontos à textura fotográfica captada por câmaras embutidas no aparelho torna os produtos obtidos por LS em representações bastante realistas dos elementos levantados.

O património edificado caracteriza-se por apresentar geometrias complexas, com muitos detalhes, cujo levantamento através de métodos de captura da realidade exige um planeamento cuidadoso, para garantir a cobertura completa da superfície a representar. O LS deve ser estacionado em tripé, de modo a garantir a sua estabilidade durante os levantamentos individuais (*setups*). Deve-se ter em atenção os alcances mínimo e máximo do equipamento e a sua variação em função da densidade de pontos pretendida, uma vez que, dependendo dos modelos, é comum que os maiores alcances sejam atingidos apenas em levantamentos com menores densidades de pontos. É necessária especial atenção à existência de esquinas, portas, janelas e obstáculos, cuja presença exige a realização de levantamentos individuais adicionais, para assegurar a representação de todas as superfícies do edifício. Um aspeto importante dos levantamentos com LS é assegurar a ligação dos vários levantamentos individuais, garantindo a existência de sobreposição entre nuvens de pontos de *setups* adjacentes.

A georreferenciação e orientação da nuvem de pontos, em caso de levantamento exterior, é feita com recurso à coordenação de um mínimo de três pontos identificáveis na nuvem, frequentemente materializados por alvos próprios, através de taqueometria ou do *global navigation satellite system* (GNSS). O processamento dos dados é efetuado em gabinete através de *software* especializado associado ao equipamento. As nuvens de pontos individuais são importadas e agregadas através de algoritmos como o *cloud-to-cloud*, que ajusta superfícies à nuvem de pontos, juntando as nuvens individuais com base na sobreposição dessas superfícies. A georreferenciação e orientação são executadas através da associação das coordenadas registadas em campo aos pontos identificáveis na nuvem, para levantamentos exteriores, ou da rotação da nuvem para uma direção de interesse, no caso de levantamentos exclusivamente interiores.

No levantamento da fortificação costeira em estudo foi utilizado um LS Leica RTC360 LT, com capacidade de captação até um milhão de pontos por segundo, alcance mínimo de 0,50 m

e alcance máximo até 65 m (levantamento de alta resolução) ou até 130 m (levantamento de média ou baixa resolução) e uma precisão posicional de 1,9 mm a 10 m. O processamento das nuvens de pontos foi realizado no *software* Leica Cyclone REGISTER 360.

O levantamento e a exploração dos produtos obtidos foram descritos em detalhe na referência [3]. Destaca-se o facto de o levantamento ter considerado o exterior e o interior do forte, tendo havido o cuidado de garantir a ligação entre as duas áreas através da sobreposição parcial das nuvens de pontos individuais. A nuvem de pontos completa foi georreferenciada e orientada com base num conjunto de pontos coordenados com GNSS no exterior do forte (Figura 1).

O levantamento LS permitiu obter uma referência detalhada sobre o estado de conservação atual para ser utilizado na avaliação do desempenho das intervenções efetuadas e planeamento de intervenções futuras.



Figura 1: Aspeto da nuvem de pontos do exterior (à esquerda) e do interior (à direita) do forte obtida por laser scanner.

2.2 *Workflow* para modelação HBIM

Para a modelação HBIM do forte foi adotado um *workflow* que permitiu definir os principais objetos BIM, com controlo sobre as suas propriedades geométricas (sem propriedades paramétricas) e preparar o modelo para a interoperabilidade com a base de dados. A modelação HBIM foi desenvolvida através do *software* Blender e o *add-on* Bonsai, plataforma nativa em IFC, ambas ferramentas *open source*.

Dada a limitação de desenhos técnicos de pormenor e por forma a obter um maior rigor na volumetria dos elementos e espaços, a modelação dos objetos BIM teve como base a nuvem de pontos descrita na secção anterior. Neste trabalho, a modelação baseou-se na extração da geometria principal a partir da nuvem de pontos num processo manual. Este processo permitiu um controlo mais rigoroso na definição da geometria dos objetos BIM. Atualmente, os processos de Scan-to-HBIM (ou Cloud-to-BIM) dependem de intervenções manuais ou semiautomáticas, especialmente para geometrias complexas e enriquecimento semântico [4].

O *workflow* proposto é composto pelos passos descritos de seguida:

- Extração de cortes verticais e horizontais na nuvem de pontos (*software* CloudCompare);
- Definição dos contornos simplificados para a representação da geometria;
- Importação dos contornos simplificados em formato DXF para o *software* de modelação (Blender);
- Criação de objetos BIM correspondentes a elementos geométricos (paredes, lajes, escadas, muretes, aberturas) (Figura 2);

- Criação de objetos BIM simbólicos para representação de informação alfanumérica (amostras para ensaios) (Figura 3);
- Introdução de elementos secundários de pormenor através de malhas provenientes da nuvem de pontos (por exemplo, elementos decorativos);
- Georeferenciação do modelo HBIM;
- Definição da estrutura do IFC e a decomposição espacial (IfcProject, IfcSite, IfcBuildingStorey);
- Classificação dos objetos BIM pelo esquema de dados IFC (Class, Prefefined Type, Userdefined Type) e preenchimento dos atributos relevantes (Tabela 1);
- Atribuição de contentores espaciais aos diferentes objetos BIM;
- Definição e atribuição das principais propriedades dos objetos BIM segundo as regras do esquema de dados IFC – PropertySets propostos para interligação com base de dados DB-Heritage (Tabela 2);
- Escolha de propriedades predefinidas no esquema de dados IFC dos objetos BIM – PropertySets existentes (Tabela 3);
- Definição e atribuição dos materiais constituintes dos elementos do forte.

Recomenda-se a utilização de *templates* (semelhantes a famílias do *software* REVIT) de objetos BIM em IFC para a construção dos elementos estruturais e a sua adaptação da geometria, por forma a preservar a estrutura de dados.

O modelo HBIM facilita o acesso à informação disponibilizada na base de dados associada aos correspondentes elementos estruturais ou componentes, possibilitando uma análise integrada, bem como a extração automática de mapas de quantidades de volumes e áreas, por tipologia de elementos, tipo de material, por piso. No caso de património histórico existente, o cálculo de volumes e áreas é particularmente relevante para o planeamento de atividades de manutenção e reabilitação, por exemplo para a estimativa do volume de argamassa de ligação da alvenaria ou estimativa do volume de reboco necessário na reparação de um elemento.

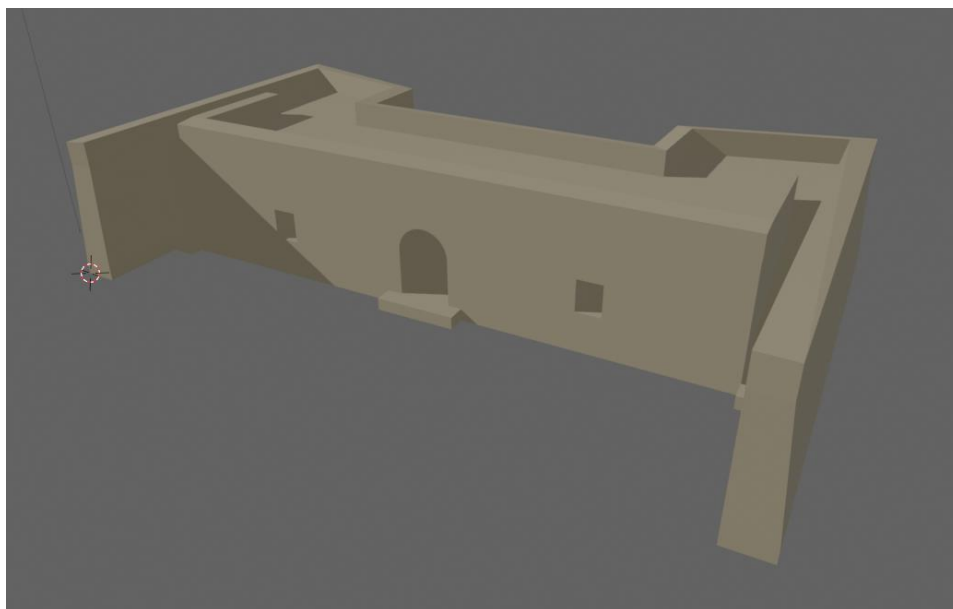


Figura 2: Modelo HBIM simplificado do Forte de Paimogo.

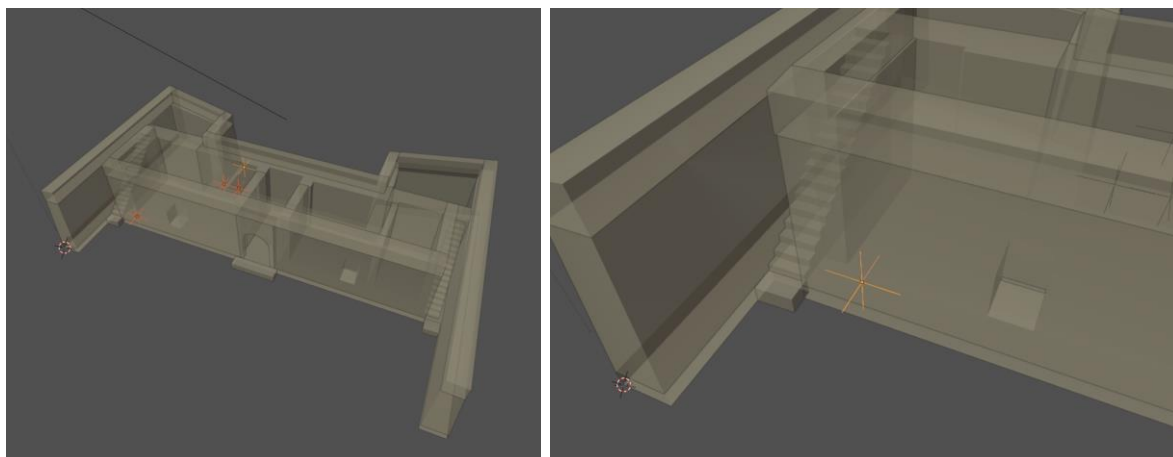


Figura 3: Localização dos objetos BIM relativos às amostras de reboco PAI-1, PAI-3, PAI-4 e PAI-6 (à esquerda) e detalhe da modelação da amostra PAI-6 através de um ponto (à direita).

3. Enriquecimento do modelo HBIM com informação proveniente do sistema de gestão de dados DB-Heritage

O sistema DB-HERITAGE [5], [6], uma aplicação em Django (com base de dados PostgreSQL), foi desenvolvida com o objetivo de facultar o acesso gratuito a dados relevantes sobre práticas passadas, história das intervenções, funções e ações relacionadas ao património construído, bem como a informação sobre as características e o desempenho de materiais históricos e tecnologias de construção então utilizadas.

O modelo de dados híbrido de suporte ao desenvolvimento do sistema incorpora a definição de objetos hierarquicamente relacionados, estruturados e agrupados em classes, à semelhança do conceito BIM, a par com a integração de eventos semanticamente interpretáveis, possibilitando a modelação flexível e escalável de grandes volumes de dados espaço-temporais, inclusive provenientes de fontes heterogéneas.

Com a capacidade de combinar diferentes granularidades espaciais e temporais com a integração generalizável de entidades, relações e atributos, o sistema DB-HERITAGE permite dotar o modelo 3D-HBIM de informação essencial para a manutenção e conservação de ativos patrimoniais.

Tomando como exemplo o Forte de Nossa Senhora dos Anjos de Paimogo, doravante designado por Forte de Paimogo, encontra-se exemplificada na Tabela 1 a interoperabilidade com o sistema integrado, assegurada pelo mapeamento dos objetos e respetiva tipologia aos correspondentes objetos, classes e propriedades de acordo com a ontologia ifcOWL e esquema IFC. A geometria é inteiramente caracterizada pelo modelo em formato .ifc, enquanto os restantes dados sobre o histórico de eventos e de monitorização ambiental (*Internet of things - IoT*) são alimentados pela camada de serviços do sistema DB-HERITAGE.

As diferentes camadas de informação (e.g., características dos materiais de construção, levantamento das patologias, registos de intervenções anteriores), carregadas diretamente a partir do sistema DB-HERITAGE (exemplos de dados sobre o Forte de Paimogo acessíveis no sistema, Figura 4), serão acedidas nos objetos 3D, associadas a polígonos ou pontos ancorados, e visualizadas em *dashboards* dedicados.

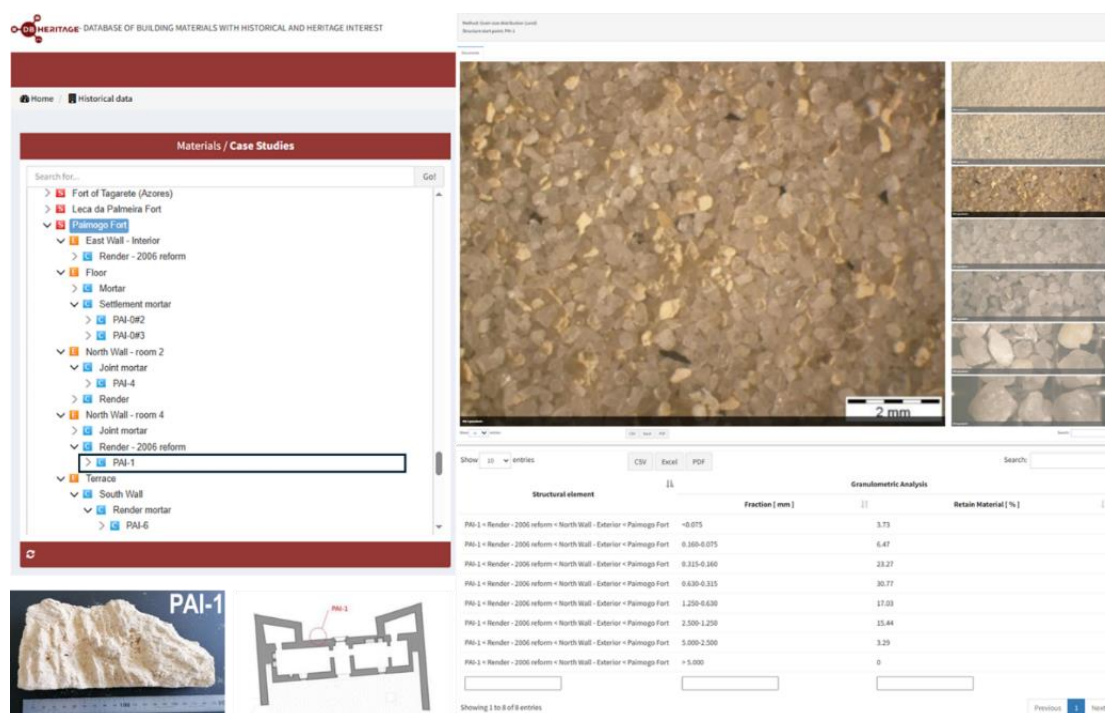


Figura 4: Exemplos de dados sobre o Forte de Paimogo acessíveis no sistema DB-Heritage.

A reciprocidade da ligação e enriquecimento da informação no modelo é expectável, mas requiere a extensa definição de propriedades pelo utilizador, bem como a respetiva modelação, integridade relacional e semântica, que não é o âmbito da presente investigação. Ainda assim, o presente desenvolvimento deverá permitir a identificação de propriedades padronizadas relevantes a incluir na modelação da informação em HBIM.

Atualmente, as normas IFC carecem de classificações específicas para elementos do património cultural, limitando a interoperabilidade e a consistência semântica [7], [8]. A ausência de padrões universalmente aceites para aquisição, processamento e enriquecimento semântico de dados em fluxos de trabalho HBIM dificulta a interoperabilidade e reprodutibilidade e afeta a consistência e comparabilidade dos resultados entre os estudos [7], [8].

O enriquecimento necessário a uma avaliação integrada do estado de conservação do ativo patrimonial normalmente requer a integração de informação multidisciplinar, com recurso a propriedades específicas e diversas, em função de fatores vários, tais como objetos, materiais e métodos, que frequentemente não estão disponíveis em HBIM. Nestes casos, para elementos inexistentes, é necessário recorrer a propriedades genéricas ou a propriedades definidas pelo utilizador, tais como o *IfcElementType* genérico “*IfcBuildingElementProxy*” e o *Predefined Type* “*USERDEFINED*” (Tabela 1 e Tabela 2).

A interoperabilidade entre sistemas, com o devido alinhamento semântico, permite aproveitar as vantagens complementares de cada sistema na gestão integrada da informação de um ativo patrimonial. O esquema na Figura 5 ilustra essa complementaridade, especificamente para o Forte de Paimogo. Com esta metodologia, visa-se também alicerçar o desenvolvimento do gémeo digital do ativo patrimonial, contribuindo para o progresso atual na área (projeto europeu ARTEMIS).

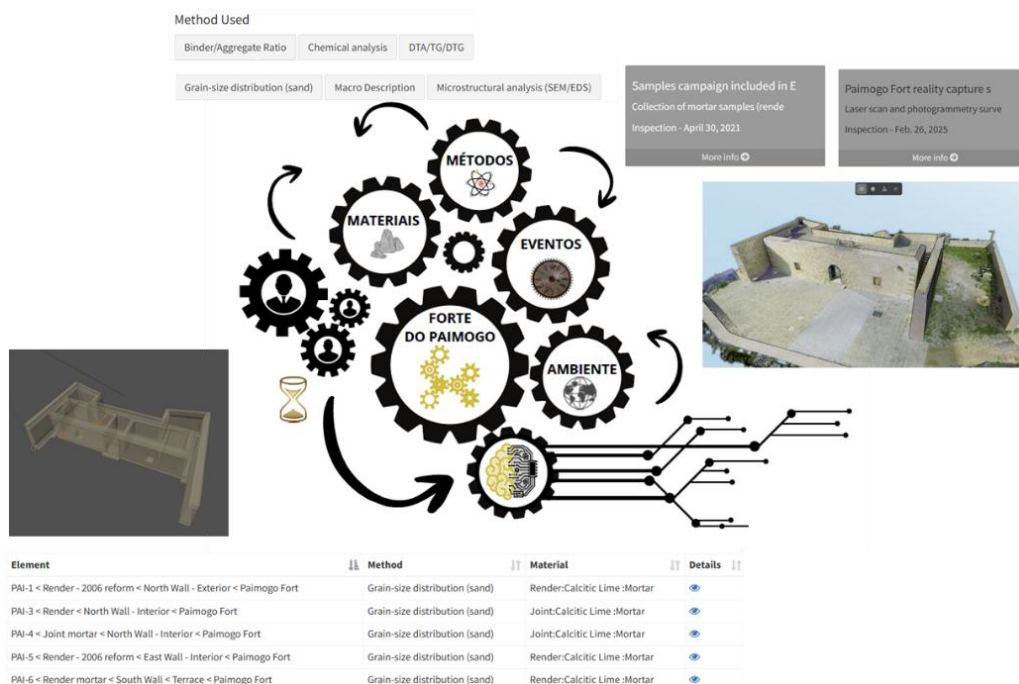


Figura 5: Ilustração sobre a prevista interoperabilidade dos dados e sistemas, exemplificada para o Forte de Paimogo

Complementarmente, a informação identificada em sistemas livres apoiados em desenvolvimentos *open source* pode ser utilizada para o enriquecimento do esquema IFC. A Tabela 2 exemplifica conjuntos de propriedades da classe de IFC (*Property Sets – Pset*) que podem ser adotados para apoiar a contextualização do ativo patrimonial. Estes exemplos incluem o tipo de dados a inserir em cada propriedade e as respetivas opções de classificação: *P_SINGLE-VALUE* para a atribuição de um valor; *P_ENUMERATED-VALUE* para a enumeração de várias opções. Na Tabela 3 exemplifica-se também a utilização direta do esquema IFC para o *Property Set «Pset_BuildingCommon»* e o mapeamento com DB-HERITAGE.

Tabela 1: Exemplos de tipos de elementos ou componentes tal como classificados no sistema DB-Heritage e respetivo mapeamento de acordo com o esquema IFC e a ontologia ifcOWL.

Elements types ¹ DB-HERITAGE	IFC Element Type	Predefined Type	Userdefined Type	Classe ifcOWL
Wall	IfcWallType	SOLIDWALL	-	ifcowl:IfcWall
Floor	IfcSlabType	FLOOR	-	ifcowl:IfcSlab
Vault	IfcSlabType	USERDEFINED	Vault	ifcowl:IfcSlab
Room	IfcSpaceType	INTERNAL	-	ifcowl:IfcSpace
Door	IfcDoorType	DOOR	-	ifcowl:IfcDoor
Stair	IfcStairType	STRAIGHT_RUN_STAIR	-	ifcowl:IfcStair
Bastion	IfcBuildingElementProxy	USERDEFINED	Bastion	ifcowl:IfcBuildingElementProxy
Parapet	IfcRailingType	USERDEFINED	Parapet	ifcowl:IfcRailing
Sample	IfcBuildingElementProxy	USERDEFINED	Sample	ifcowl:IfcBuildingElementProxy

¹ Tipos de elementos ou de componentes

Tabela 2: Exemplos de conjuntos de propriedades IFC (*Pset*) propostos para a classe IfcBuilding.

Origem	Object Property Sets	Property Type	Primary Measure Type	Template Type
DB-Heritage	DBHeritageBuildingAddress ¹	CivilParish	IfcLabel	P_SINGLEVALUE
		District	IfcLabel	P_SINGLEVALUE
		GPSCoordinateP	IfcReal	P_SINGLEVALUE
		GPSCoordinateM	IfcReal	P_SINGLEVALUE
		Locality	IfcLabel	P_SINGLEVALUE
		Municipality	IfcLabel	P_SINGLEVALUE
		Country	IfcLabel	P_ENUMERATEDVALUE
	DBHeritageBuildingDating ¹	Period	IfcLabel	P_ENUMERATEDVALUE
	DBHeritageAddID ¹	ProbableConstDate	IfcInteger	P_SINGLEVALUE
		IPANumber	IfcInteger	P_SINGLEVALUE
	DBHeritageBuildingClassification ¹	Category	IfcLabel	P_ENUMERATEDVALUE
		Type	IfcLabel	P_ENUMERATEDVALUE
	DBHeritageBuildingHistorical ¹	ArchDescription	IfcLabel	P_ENUMERATEDVALUE
		ArchStyle	IfcLabel	P_SINGLEVALUE
		ConstResponsible	IfcLabel	P_SINGLEVALUE
		OriginalOwner	IfcLabel	P_SINGLEVALUE
	DBHeritageBuildingInfoSources ¹	LinkSIPA	IfcLabel	P_SINGLEVALUE

¹ <http://dbheritage.lnec.pt/dbheritage/globaldata#str/8848>

Tabela 3: Exemplos de conjuntos de propriedades IFC (*Pset*) para a classe IfcBuilding e mapeamento com DB-HERITAGE.

Origem	Esquema IFC	Property Type	Primary Measure Type	Template Type	DB-HERITAGE
Esquema Pset_Building IFC	Common ¹	BuildingID	IfcIdentifier	P_SINGLEVALUE	AssetID
		ConstructionMethod	IfcLabel	P_SINGLEVALUE	Methods ³
		IsPermanentID	IfcBoolean	P_SINGLEVALUE	²
		IsLandmarked	IfcLogical	P_SINGLEVALUE	Value ³
		NumberOfStoreys	IfcCountMeasure	P_SINGLEVALUE	-
		OccupancyType	IfcLabel	P_SINGLEVALUE	²
		YearOfConstruction	IfcLabel	P_SINGLEVALUE	ProbableConstDate
		YearOfLastRefurbishment	IfcLabel	P_SINGLEVALUE	Events ³

¹ https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/Pset_BuildingCommon.htm

² Propriedades que variam no tempo, de acordo com o modelo de DB-HERITAGE.

³ Relativas a conceitos distintos, integrando atributos específicos para modelação espacial e temporal.

4. Considerações finais

Considera-se que a metodologia adotada na digitalização do Forte de Paimogo, baseada em práticas de gestão de dados FAIR (*findability, accessibility, interoperability and reusability*) e *workflows* normalizados, deverá melhorar a qualidade, a disponibilidade e a interoperabilidade dos dados e da informação no setor do património construído. Deste modo, o valor implícito da tecnologia, veiculada livremente por projetos como o ATRIUM, bem como a demonstração prática deste tipo de metodologias, deverão contribuir para que sejam ultrapassadas as barreiras de usabilidade e acesso aos dados e à adoção de ferramentas e *workflows* abertos e reutilizáveis, que são essenciais para a eficiente e sustentável conservação do património.

Os autores agradecem o apoio dos projetos ATRIUM (União Europeia, ao abrigo do Acordo de Subvenção n.º 101132163), ARTEMIS (União Europeia, ao abrigo do Acordo n.º 101188009), ID4CH (LISBOA2030-FEDER-01317300), ao Município de Lourinhã e ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Referências

- [1] F. J. Chorro-Domínguez, P. Redweik, and J. J. Sanjosé-Blasco, ‘Integrating HBIM and GIS Through Object-Relational Databases for the Conservation of Rammed Earth Heritage: A Multiscale Approach’, *Heritage*, vol. 8, no. 8, p. 336, Aug. 2025, doi: 10.3390/heritage8080336.
- [2] G. Rocha, L. Mateus, J. Fernández, and V. Ferreira, ‘A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings’, *Heritage*, vol. 3, no. 1, Art. no. 1, Mar. 2020, doi: 10.3390/heritage3010004.
- [3] A. Santos Silva, M. J. Henriques, D. Roque, M. D. R. Veiga, A. R. Santos, and M. J. Correia, ‘Monitoring the state of conservation of Paimogo Fort - digital survey’, *MATEC Web Conf.*, vol. 409, p. 09003, 2025, doi: 10.1051/mateconf/202540909003.
- [4] M. Avena, G. Patrucco, F. Remondino, and A. Spanò, ‘A scalable approach for automating scan-to-BIM processes in the Heritage field’, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. XLVIII-2/W4-2024, pp. 25–31, Feb. 2024, doi: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W4-2024-25-2024.
- [5] M. J. Correia, A. Santos Silva, and R. Fontinha, ‘DB-HERITAGE - Data on construction materials history’, presented at the 4 CIHCLB, Guimarães, 2023.
- [6] M. Menezes, M. J. Correia, and A. Santos Silva, ‘DB-Heritage - Um arquivo de materiais de construção com interesse histórico’, *Pedra Cal*, no. 72, pp. 52–55, 2022.
- [7] F. Diara and F. Rinaudo, ‘Building archaeology documentation and analysis through open source HBIM solutions via NURBS modelling’, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. XLIII-B2-2020, pp. 1381–1388, Aug. 2020, doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-1381-2020.
- [8] M. Parente, N. Bruno, and F. Ottoni, ‘HBIM and Information Management for Knowledge and Conservation of Architectural Heritage: A Review’, *Heritage*, vol. 8, no. 8, Jul. 2025, doi: 10.3390/heritage8080306.