

Avaliação de Ciclo de Vida e BIM: Apoio à definição de soluções de reabilitação de edifício patrimonial português

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.19>

**Gabriel Sugiyama¹,
Hugo Rodrigues², Fernanda Rodrigues³**

¹ RISCO, Universidade de Aveiro, Aveiro, <https://orcid.org/0000-0002-2749-7796>

² RISCO, Universidade de Aveiro, Aveiro, <https://orcid.org/0000-0003-1373-4540>

³ RISCO, Universidade de Aveiro, Aveiro, <https://orcid.org/0000-0001-9127-7766>

Resumo

Este artigo tem como objetivo comparar os possíveis impactos ambientais de diferentes soluções de reabilitação, propostas para um caso de estudo de um edifício vernacular português, tendo em conta a necessidade de buscar práticas menos impactantes de acordo com agendas globais e, simultaneamente, a preservação dos bens patrimoniais. As diferenças entre as duas soluções analisadas centram-se na escolha de materiais, que caminha entre utilização exclusiva de materiais convencionais e a utilização de materiais de origem local e natural, considerando a realidade portuguesa. Os resultados obtidos a partir dos procedimentos de Avaliação do Ciclo de Vida configuram a base da comparação, desenvolvidos por meio de um plugin analítico integrado ao BIM (Building Information Modelling). A produção de modelos HBIM (Heritage Building Information Modelling) foi essencial para a análise e, portanto, é uma parte vital da metodologia utilizada, não obstante, a modelação de edifícios patrimoniais por si só desempenha um papel importante na preservação dos bens patrimoniais, uma vez que fornece ferramentas precisas de documentação e gestão. Os resultados evidenciam variações de valores para diferentes indicadores de ambos os casos estudados, cuja interpretação precisaria de maior desenvolvimento para que conclusões melhor embasadas sejam alcançadas. Verificou-se que as ferramentas informáticas utilizadas ainda não estão bem-adaptadas para analisar bens patrimoniais ou edifícios históricos, pelo que tiveram de ser realizadas adaptações para ultrapassar tais limitações.

1. Introdução

O Building Information Modelling (BIM) surgiu como uma tecnologia que revolucionou o setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) em diversos aspectos. Apesar de a sua criação estar, sobretudo, voltada para novos edifícios, edificações existentes também podem se beneficiar de suas funcionalidades [1]. Para além disso, em conjunto com outras tecnologias digitais que surgiram nas últimas décadas, despontaram novas possibilidades de levantamento e modelação de edifícios patrimoniais, o que beneficiou a produção do conhecimento produzido, a gestão dos bens patrimoniais e a execução de trabalhos de conservação e reabilitação [2], [3]. As mudanças proporcionadas por tais procedimentos estão, desde o seu advento, transformando o paradigma de carácter técnico relativamente ao património construído, o que também vinha ocorrendo noutros âmbitos [4], [6]. Não obstante os proveitos mencionados e as atividades essenciais aos quais estão relacionados, os avanços associados a edificações patrimoniais não podem preterir questões atualmente prementes na sociedade, como a mitigação dos impactos ambientais.

Neste sentido, a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) tem como objetivo identificar os impactos ambientais relacionados à totalidade do ciclo de vida de um objeto, ou, neste contexto, de uma edificação ou solução construtiva. O resultado da ACV é constituído por uma gama de valores divididos em determinados indicadores, dentre eles o Global Warming Potential (GWP), ou Potencial de Aquecimento Global, que diz respeito às emissões de gases causadores de efeito estufa, medidos em quantidade equivalente de dióxido de carbono. Desta forma, ao estudar a ACV de soluções é possível identificar aquela menos impactante e agir em consonância com os acordos e agendas nacionais e internacionais de desenvolvimento sustentável [7], [8]. As ferramentas BIM têm o potencial de servir a este propósito, uma vez que as informações armazenadas pelos modelos, geométricas ou semânticas, podem ser utilizadas de variados modos. Tal processo pode, inclusivamente, ser feito de maneira integrada com os próprios software de modelação.

Os modelos BIM aplicados a edificações patrimoniais ou históricas, ou ainda os modelos Heritage/Historic Building Information Modelling (HBIM), são caracterizados por armazenar informações úteis à preservação, sobretudo de documentação detalhada e geometria precisa, muito comumente obtida de nuvens de pontos geradas a partir de levantamentos digitais [9]. O modelo deve igualmente ser carregado com informações semânticas que sirvam ao mesmo intuito, a exemplo de dados relativos a propriedades, sejam elas estruturais, térmicas ou mecânicas, a técnicas construtivas tradicionais, ou ainda a práticas de reabilitação ou conservação [9], [10]. A importância da documentação tem sido apontada como vital para a preservação pelas mais variadas organizações relacionadas ao património, bem como por cartas e documentos internacionais e diretivos relativamente à salvaguarda desses bens, como é o caso da Carta de Atenas [11], o primeiro documento internacional desse tipo, ou, mais recentemente, a Carta de Burra [12]. Apesar disso, o levantamento de dados semanticamente relevantes para o modelo HBIM continua a ser um desafio,

sobretudo no que diz respeito a características intangíveis, e tem recebido foco de pesquisa limitado até o momento [13].

Ainda no que diz respeito ao património construído, sabe-se que, inicialmente, somente as edificações consideradas *monumento histórico*, no sentido observado por Riegl [14] e posteriormente lembrado por Choay [15], eram dignas de preservação. Desta forma, estavam limitadas àquelas de grande notoriedade atribuída pela sociedade que lhes era contemporânea, o que, até dado momento, excluía as construções correntes e vernaculares. Alguns teóricos da Teoria da Conservação e Restauro já demonstravam preocupação com edificações correntes desde o seu princípio, a exemplo de Alberti, ainda no Renascimento. Posteriormente, já nos contextos de modernização da Revolução Industrial e no pós-guerra, respetivamente, Ruskin e Giovannoni também expressaram tal preocupação [16]. A ampliação da noção de património avançou oficialmente no âmbito internacional com a Carta de Veneza [17], no entanto é relativamente recente a menção a esse tipo de construção num documento específico [18].

Pode-se dizer, com base nos fatos apresentados, que o próprio desenvolvimento de um modelo HBIM é, por si só, útil para a preservação e para a gestão de uma edificação patrimonial. Mais ainda, a utilização do modelo para a identificação de práticas de conservação ou reabilitação mais sustentáveis é um contributo válido para a sociedade no contexto em que se encontra, uma vez que incentiva práticas menos impactantes. Neste sentido, vem o presente trabalho apresentar uma metodologia de ACV de diferentes soluções de reabilitação, tendo como caso de estudo uma edificação vernacular situada na Aldeia do Fujaco, Concelho de São Pedro do Sul (Figura 1). A metodologia de ACV tem como base o modelo HBIM do objeto estudado, fazendo uso de uma ferramenta integrada ao software BIM, denominada Tally. A proposta de reabilitação primária utiliza materiais naturais e locais, com o intuito de compará-la a uma solução que utiliza materiais convencionais.

2. Caso de estudo

Para a aplicação da metodologia, tema de estudo do trabalho, foi selecionada uma aldeia portuguesa, na qual a utilização de pedra de xisto nas construções é historicamente habitual, devido, sobretudo, à formação geomorfológica da região e da proximidade da aldeia com uma pedreira. Desta forma, a aldeia é caracterizada por suas edificações de carácter vernáculo, cujas técnicas construtivas são fruto da transmissão intergeracional, aperfeiçoadas para as condições específicas daquela localidade a partir de práticas empíricas, o que pode ser considerado património imaterial.

A aldeia possui cerca de 30 a 50 habitantes, todos com idade acima dos 40 anos. No entanto, o número de habitantes tem vindo a diminuir no decorrer dos anos, principalmente por conta da evasão da população jovem para grandes centros urbanos, fenómeno observado em diversas localidades do interior do país. O despovoamento põe em risco a manutenção do património construído, bem como do património imaterial [19].

Figura 1

Imagem da Aldeia do Fujaco (fonte: Wikimedia Commons 2009).



Com o propósito de levantar, modelar e propor soluções de reabilitação, foi selecionada uma edificação que se encontra em estado de ruína, em que restam apenas as paredes exteriores, compostas por pedra de xisto. Acredita-se que a edificação terá servido como habitação com dois pisos, de área correspondente a 16m² por pavimento. Parte da envolvente da edificação é a própria encosta, igualmente em pedra de xisto.

3. Levantamento e modelação

O levantamento foi realizado fazendo o uso de fotogrametria, de maneira a obter uma nuvem de ponto do objeto estudado, para então proceder à modelação em ambiente BIM. Para a obtenção das fotos, foi utilizado o drone compacto de modelo DJI Mavic Mini. Como é costumeiro da prática de fotogrametria, foram realizadas diversas fotografias com a sobreposição necessária, o que totalizou em mais de 200 itens.

O processo de fotogrametria foi, então, realizado no software Reality Capture, conforme demonstrado por Dedic [20]. Após correr o reconhecimento das fotos para o posicionamento dos pontos tridimensionalmente, obtendo assim a nuvem de pontos, é realizado um trabalho de limpeza para a remoção dos pontos indesejados. A partir de então a nuvem é exportada e inserida no software BIM, neste caso o Autodesk Revit.

O processo de modelação então segue com a criação dos elementos construtivos, de maneira a concebê-los geometricamente equivalentes ao real, o que ocorre com grande precisão por conta da nuvem de pontos que serve de base (Figura 2).

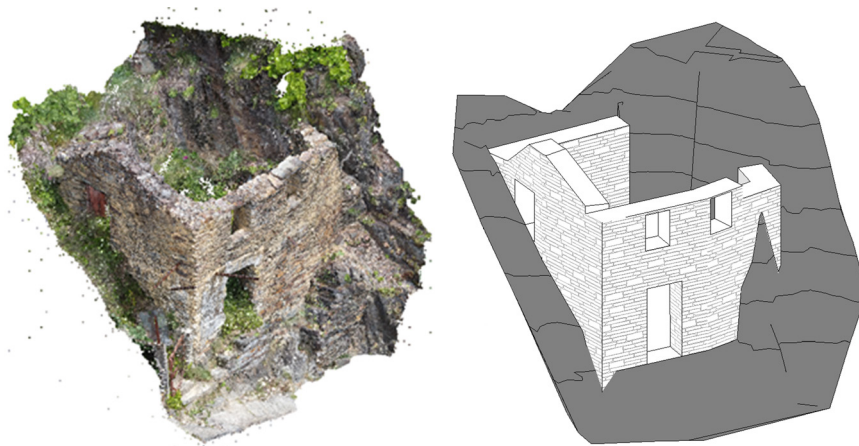


Figura 2
Nuvem de pontos obtida para o caso de estudo (à dir.) e imagem tridimensional do modelo a visualizar a “fase existente” (à esq.).

4. Definição de soluções e materiais

A proposta de reabilitação que se seguiu, denominada solução proposta (Figura 3), além dos princípios sustentáveis, também buscou respeitar caráter histórico e cultural da aldeia. Havia também a necessidade de respeitar a paisagem, de maneira que seria incoerente propor materiais diferentes e, assim, prejudicar o conjunto. Por outro lado, o interior da habitação poderia conter diferentes materiais, inclusivamente com o intuito de proporcionar o conforto e as características exigidas atualmente.

Os materiais selecionados, portanto, seriam, tanto quanto o possível: (1) a pedra local para o preenchimento dos espaços em falta nas paredes exteriores e execução da cobertura; (2) a cortiça, no que diz respeito ao isolamento; e (3) a madeira, nas caixilharias e pavimentos.

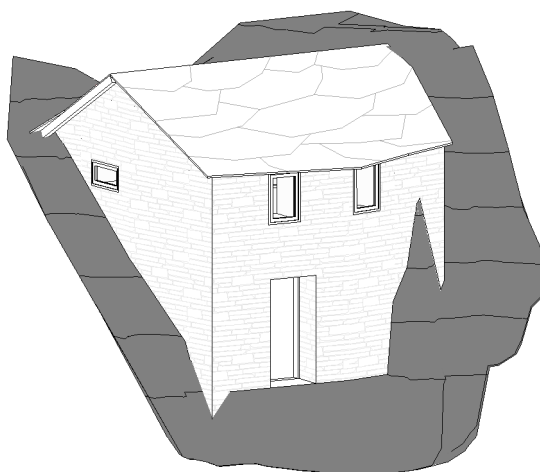
Em oposição, a solução com a qual a comparação seria feita, denominada solução de referência, e que utiliza materiais convencionais, faz uso de isolamento em EPS (Expanded Polystyrene), alumínio para as caixilharias e telhas cerâmicas.

Desta forma, a modelação da reabilitação prosseguiu com a criação de pavimentos, ausentes no estado original, cobertura com isolamento, paredes interiores ligeiramente separadas das paredes de xisto originais, isoladas e acabadas com placas de gesso cartonado pelo lado interior. Além disso, foi criado um mezanino, juntamente com a escada que lhe dá acesso, bem como janelas e portas.

Algumas dificuldades foram encontradas nessa fase. Uma delas estava relacionada à modelação da cobertura, que assumia as camadas como maciças quando deveria existir o espaço de ar entre os elementos de madeira, por exemplo, o que exigiu maior detalhamento do modelo para que os resultados da ACV estivessem corretos. Outra envolvia a definição de materiais no plugin Tally, que não continha alguns dos materiais selecionados para a solução de reabilitação, como é o caso da cortiça e do xisto.

De maneira a contornar essa questão, mas ainda obter resultados tão próximos do ideal quanto o possível, os materiais inexistentes na biblioteca do Tally foram substituídos por isolamento de celulose e pedra calcária. Um estudo já havia apresentado as diferenças entre o isolamento de cortiça e de celulose, apontando que os materiais tinham comportamento parecido, sobretudo em comparação com materiais minerais e sintéticos, ainda que os indicadores de impacto ambiental tivessem proporções diferentes – a cortiça apresenta maior sequestro de carbono, mas maior impacto nas outras categorias [21].

Figura 3
Imagem tridimensional da solução proposta.



Quanto à pedra, foi decidido substituir o material por pedra calcária nas paredes e por telhas de ardósia manufaturadas, diferentes daquelas de grande dimensão simplesmente lascadas manualmente presentes na aldeia. Por esse motivo era esperado que as telhas industrializadas tivessem maior impacto, especialmente na fase de produção. As alterações realizadas quanto à materialidade podem ser visualizadas de maneira resumida na Tabela 1.

Tabela 1: Variações de material consideradas nas soluções estudadas

	Solução proposta	Solução avaliada	Solução de referência
Isolamento	Cortiça	Fibras de celulose	EPS
Janelas, portas e portadas	Madeira	Madeira	Alumínio
Cobertura	Placas de xisto	Telhas de xisto (manufaturadas)	Telhas cerâmicas

5. Resultados

Os resultados obtidos do Tally podem conter as opções de projeto (funcionalidade denominada *design option* no Autodesk Revit), o que foi útil neste caso. Desta forma, os dados foram emitidos num comparativo entre as duas soluções de reabilitação, o que continha variados indicadores normalmente apresentados em ACV, conforme demonstrado na Tabela 2 e na Figura 4.

Tabela 2: Resultados obtidos para a ACV de ambas as soluções

Indicadores	Solução de referência	Solução proposta
Total de massa (kg)	31,121.24	31,049.21
Total de Potencial de Aquecimento Global (kgCO ₂ eq)	11,658.71	10,833.85
Total de Potencial de Acidificação (kgSO ₂ eq)	105.92	118.09
Total de Potencial de Eutrofização (kgNeq)	5.29	10.38
Total de Potencial de Depleção de Ozono (CFC-11eq)	3.15E-06	1.51E-05
Total de Potencial de Formação de Smog (kgO ₃ eq)	1,919.03	2,091.36
Total de demanda de energia primária (MJ)	284,565.24	292,263.69
Total de demanda de energia não-renovável (MJ)	225,907.87	215,886.50
Total de demanda de energia renovável (MJ)	58,692.90	76,420.45

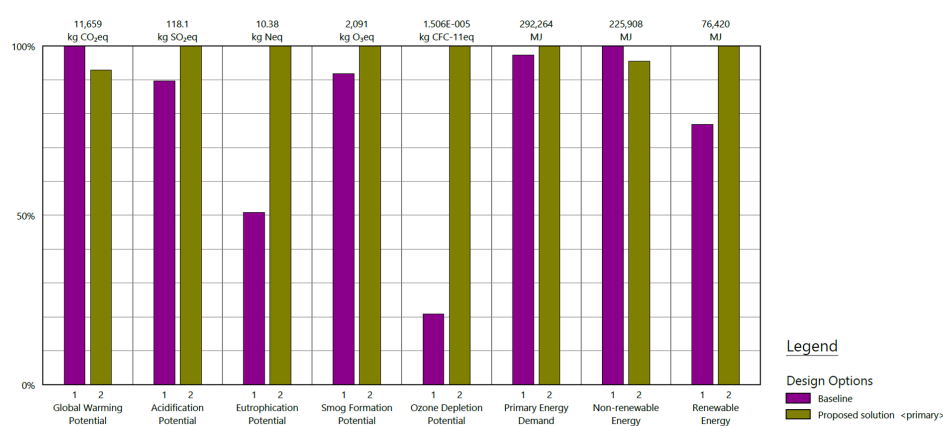


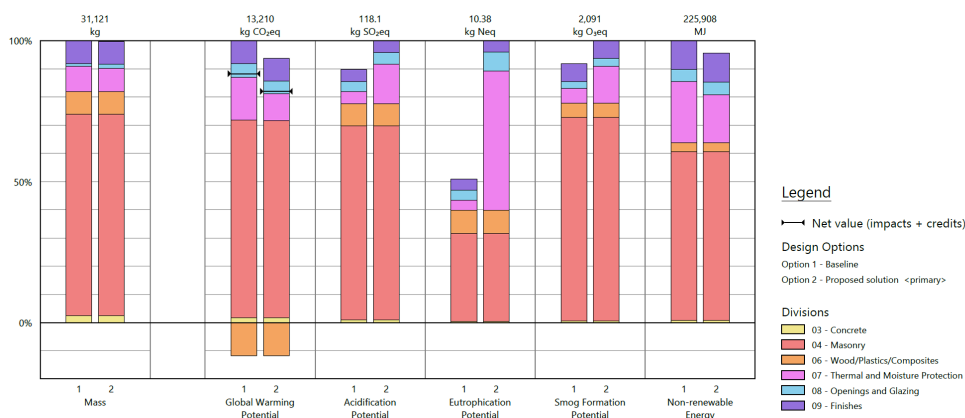
Figura 4
Resultados obtidos para ACV de ambas as soluções, dividida por indicadores.

No que diz respeito ao GWP, há grande vantagem na solução proposta. No entanto, para os outros indicadores a solução proposta não seria vantajosa, e, levando em conta os estudos comparativos entre a cortiça e a celulose, um cenário ainda mais gravoso poderia ser esperado.

O Potencial de Eutrofização é o indicador com maior diferença percentual entre as soluções, o que pode ser explicado pelo emprego de materiais de origem vegetal na solução proposta, tais como o isolamento de celulose e as caixilharias em madeira. O impacto associado ao isolamento é bastante evidente na visualização dos resultados por categoria de construção, apresentados na Figura 5, e, portanto, merece especial atenção.

Figura 5

Resultados obtidos para ACV de ambas as soluções divididas por categoria de construção para cada indicador.



6. Considerações finais

A metodologia apresentada demonstra vantagens para a salvaguarda de património edificado a partir da documentação precisa e do armazenamento de informação que o modelo HBIM pode oferecer. São também colocadas em evidência as vantagens que a ACV pode proporcionar para a comparação entre diferentes materiais e soluções em reabilitações, de maneira a utilizar aquela menos impactante. Não obstante, foi constatado que ainda há muitas limitações que devem ser ultrapassadas para que seja possível utilizá-la de maneira facilitada.

A ferramenta Tally se mostrou de fácil utilização, e a integração com o Revit permite a utilização do modelo para a execução da ACV de maneira intuitiva. Apesar disso, a ferramenta é limitante no que diz respeito à seleção dos materiais, que é restrita a uma biblioteca já existente, o que impossibilita a adaptação ao contexto das construções tradicionais. Sendo assim, os materiais avaliados na solução proposta tiveram de ser adaptados o tanto quanto possível, para que os resultados obtidos fossem próximos do que fora estabelecido para a solução proposta.

Relativamente aos resultados obtidos, a solução proposta evidencia valores reduzidos de GWP em comparação com a solução de referência, o que é relevante considerando as metas globais de redução de emissão de gases de efeito estufa. No entanto, o Potencial de Eutrofização tem valor consideravelmente maior, o que é relacionado ao uso de materiais de origem vegetal, e que, inclusivamente, poderia levar ao aumento da geração de gases de efeito estufa no futuro, entre outras consequências. A silvicultura durante a fase de produção e o descarte durante a fase de fim de vida representam as etapas de maior impacto neste quesito, o que pode estar envolvido a determinadas práticas associadas a esses processos. Sendo assim, o estudo acerca desses processos deve ser mais desenvolvido e a Análise de Inventário de Ciclo de Vida (Life Cycle Inventory Assessment) mais bem esmiuçada para potencialmente suscitar medidas menos impactantes, de maneira a tornar possível beneficiar-se de menor emissão de gases de efeito estufa e materiais renováveis.

Apesar das diferenças apresentadas entre os resultados das soluções, uma abordagem normalizada e ponderada dos indicadores da ACV, de maneira a expor os

resultados num sistema de pontuação única, poderia levar a uma democratização do entendimento dos impactos que diferentes soluções podem causar ao ambiente, considerando os variados indicadores e seus meios únicos de impacto e mensuração. Uma abordagem semelhante foi explorada por Bottino-Leone et al [22] por meio de Key Performance Indicators (KPI, ou Indicadores-chave de Desempenho) para a validação dos resultados da ACV, permitindo melhor visualização e comparação no caso de uma avaliação de impactos ambientais para uma parede com isolamento.

Não obstante, esse tipo de processo não está incluído no escopo do Tally. Apesar de ter provado ser uma ferramenta simples e intuitiva, suas limitações relativamente a construções históricas e tradicionais constitui uma questão que tem de ser solucionada para que a aplicação a esses tipos de edificação seja facilitada.

Agradecimentos

O estudo realizado foi realizado ao abrigo de uma bolsa de doutoramento concedida ao primeiro autor com a referência UI/BD/154571/2022 com financiamento participado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT). Os autores agradecem ainda o apoio financeiro da FCT, através do projeto FCT/UIDB/ECI/04450/2020 (RISCO), e do ERASMUS+, através do projeto KA220-HED-000032082 – “BIM for higher education institutions” – BIM4HEI.

Referências

- [1] R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, “Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs,” *Automation in Construction*, vol. 38, pp. 109-127, March 2014. doi: 10.1016/j.autcon.2013.10.023.
- [2] B. Daniotti, M. Gianinetto, and S. Della Torre (eds.), “Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment” in *Research for Development*. Cham: Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-33570-0.
- [3] A. De Falco, F. Gaglio, F. Giuliani, and M. Martino, “A BIM-Based Model for Heritage Conservation and Structural Diagnostics: The City Walls of Pisa,” *The Future of Heritage Science and Technologies*, pp. 84-96, 2023. doi: 10.1007/978-3-031-17594-7_7.
- [4] L. Dipasquale, L. Montoni, A. Montacchini, and S. Mecca, “Vernacular and World Heritage Impact Assessment: the case study of Patmos,” *JCHMSD*, vol. 12, no. 2, pp. 150-170, Apr. 2022, doi: 10.1108/JCHMSD-06-2021-0105.
- [5] E. Gigliarelli, F. Calcerano, and L. Cessari, “Heritage Bim, Numerical Simulation and Decision Support Systems: An Integrated Approach for Historical Buildings Retrofit,” in *Energy Procedia* (2017), Matera, Italy, 2017, pp. 135-144. doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.379.

- [6] A. T. P. da Silva and A. P. Roders, "Cultural heritage management and heritage (impact) assessments," in *International Conference on Facilities Management, Procurement Systems and Public Private Partnership* (2012), Cape Town, South Africa, 2012.
- [7] UN General Assembly Resolution, "Resolution 70/1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development," A/Res/70/1, New York, 2015.
- [8] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), "The Paris Agreement". UNFCCC, New York, 2015
- [9] M. Murphy, E. McGovern, and S. Pavia, "Historic building information modelling (HBIM)," *Structural Survey*, vol. 27, no. 4, pp. 311-327, Aug. 2009, doi: 10.1108/02630800910985108.
- [10] A. Woodward and D. Heesom, "Implementing HBIM on conservation heritage projects: Lessons from renovation case studies," *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, vol. 39, no. 1, pp. 96-114, Jan. 2020, doi: 10.1108/IJBPA-06-2019-0054.
- [11] CIAM, "Carta de Atenas para o restauro de monumentos históricos," *1.º Congresso Internacional de Arquitectos e Técnicos de Monumentos Históricos*, Atenas, 1931.
- [12] Australia International Council on Monuments and Sites (ICOMOS), "The Australia ICOMOS charter for the conservation of places of cultural significance," Burra Charter, 1987.
- [13] D. Heesom, P. Boden, A. Hatfield, S. Rooble, K. Andrews, and H. Berwari, "Developing a collaborative HBIM to integrate tangible and intangible cultural heritage," *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, vol. 39, no. 1, pp. 72-95, Jan. 2020. doi: 10.1108/IJBPA-04-2019-0036.
- [14] A. Riegl, *Le culte moderne des monuments. Son essence et sa genèse*. Paris: Editions du Seuil, 1984.
- [15] F. Choay, *L'allégorie du patrimoine*. Paris: Editions du Seuil, 1992.
- [16] J. Jokilehto, *A history of architectural conservation*. London: Routledge, 2017.
- [17] International Council on Monuments and Sites (ICOMOS), "International charter for the conservation and restoration of monuments and sites: the Venice charter". Venice: ICOMOS, 1964.
- [18] International Council on Monuments and Sites (ICOMOS), "Charter on the Built Vernacular Heritage," Mexico: ICOMOS, 1999.

- [19] L. R. Paulo, "A Reabilitação do Património como Factor de Desenvolvimento Regional: Os Modelos da Beira Interior," *Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo*, vol. 10, no. 1, Art. no. 1, 2010. ISSN: 1809-4120
- [20] M. Dedic, "Digital Model of an Existing Building a Wild Riverbed in Tokyo," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 1066, no. 1, p. 012017, Feb. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1066/1/012017.
- [21] S. Fuchsl, F. Rheude, and H. Röder, "Life cycle assessment (LCA) of thermal insulation materials: A critical review," *Cleaner Materials*, vol. 5, p. 100119, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.clema.2022.100119.
- [22] D. Bottino-Leone, M. Larcher, D. Herrera-Avellanosa, F. Haas, and A. Troi, "Evaluation of natural-based internal insulation systems in historic buildings through a holistic approach," *Energy*, vol. 181, pp. 521-531, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.05.139.