

HBIM E MAPA DE DANOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

HBIM AND DAMAGE MAP: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

 Felipe Bruno Lima da Silvaⁱ

 Ana Regina Mizrahy Cupersmidⁱⁱ

ⁱ Universidade Estadual de Campinas,
Campinas, SP, Brasil,
felipebrunolima@gmail.com

ⁱⁱ Universidade Estadual de Campinas,
Campinas, SP, Brasil, cuper@unicamp.br

Resumo

Um dos mais importantes documentos para a avaliação do estado de conservação do patrimônio cultural construído é o Mapa de Danos, cuja função é apresentar de forma sintética e precisa as informações referentes às anomalias identificadas nessas construções, assim como suas ações corretivas. No entanto, esse documento é usualmente produzido em sistemas de representação bidimensional, que não favorecem uma estruturação consistente dessas informações, tampouco a interoperabilidade. A Modelagem da Informação da Construção Histórica (HBIM) oferece novas possibilidades para o registro dos danos, uma vez que toda a documentação poderia ser associada a um banco de dados e atualizada ao longo do ciclo de vida das construções históricas. Portanto, essa pesquisa tem como objetivo principal apresentar os resultados qualitativos de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), desenvolvida com a finalidade de identificar o estado-da-arte de pesquisas relevantes que correlacionam os conceitos de HBIM e Documentação de Danos do Patrimônio Construído. A pesquisa foi realizada em seis etapas: (1) Definição da Questão; (2) Estratégia de Busca; (3) Triagem e Elegibilidade; (4) Avaliação da Qualidade; (5) Síntese dos Resultados e (6) Apresentação do Estudo. Foram constatadas distintas finalidades para a documentação diagnóstica utilizando a metodologia HBIM, como avaliação estrutural e gestão de obras de restauro e conservação. Entretanto, foram ressaltadas dificuldades de interoperabilidade entre as ferramentas, que precisam ser aprimoradas de forma a possibilitar a comunicação e gestão das informações relacionadas ao Patrimônio Cultural Construído.

Palavras-chave: modelagem da informação da construção histórica, mapa de danos, patrimônio cultural construído, revisão sistemática da literatura.

Abstract

An important document for assessing the conservation status of the built cultural heritage is the Damage Map, whose function is to present in a synthetic and precise way the information related to the anomalies identified in these buildings and their corrective actions. However, this document is usually produced in two-dimensional representation systems, which do not favor a consistent structuring of this information or interoperability. The Historic Building Information Modeling (HBIM) offers new possibilities for registering damage since all documentation could be associated with a database and updated throughout the historic buildings life cycle. Therefore, this research has the main objective to present the qualitative results of a Systematic Literature Review (SLR), developed to identify the state-of-the-art that correlates the HBIM and Built Heritage Damage Documentation concepts. The research was developed on six steps: (1) Question Definition, (2) Research Strategy, (3) Search and Eligibility, (4) Quality Assessment, (5) Synthesis of Results and (6) Study Presentation. Different purposes were found for diagnostic documentation using the HBIM methodology, such as structural assessment and restoration and conservation works management. However, difficulties in interoperability between the tools were highlighted, which need to be improved to enable the communication and information management related to the Built Cultural Heritage.

Keywords: historic building information modeling, damage map, built cultural heritage, systematic literature review.

Contribuição dos autores:

FBL: conceituação, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, administração de projetos, validação, visualização, escrita - rascunho original, escrita - revisão e edição. **ARMC:** conceituação, metodologia, administração de projetos, supervisão, escrita - rascunho original, escrita - revisão e edição.

Fomento: Não houve fomento.

Declaração de conflito: nada foi declarado.

Editor Responsável:

Regina Coeli Ruschel 

How to cite this article:

SILVA, F. B. L. da; CUPERSCHMID, A. R. M. HBIM e mapa de danos: uma revisão sistemática da literatura. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 13, p. e022003, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v13i00.8663653>

Submitted 16.12.2020 – Approved 14.06.2021 – Published 29.12.2021

e022003-1 | **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 13, p. e022003, 2022, ISSN 1980-6809



Introdução

Nos últimos anos, boa parte dos esforços científicos no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) – com relação às investigações das propriedades dos materiais e estruturas – concentram-se nos novos edifícios, sendo que as construções históricas constituem ainda um campo pouco explorado nesse sentido (MESQUITA *et al.*, 2015).

No contexto atual dos projetos de restauro, esse abismo torna-se ainda maior. Cavalcanti Neto e Amorim (2006) já apontavam a existência de dois extremos nessa área: se em raras situações se faz uso do escaneamento a laser 3D e sistemas para o processamento de nuvem de pontos; por outro lado, projetistas ainda utilizam de ferramentas computacionais como um simples editor de desenhos. Essa dicotomia tecnológica também é corroborada por Arayici (2008), que nesse mesmo período já sinalizava para a necessidade da implementação do *Building Information Modeling* (BIM) aos projetos para edificações existentes, principalmente com relação aos benefícios que seriam advindos da incorporação de dados inteligentes a um modelo virtual da construção.

De acordo com Dezen-Kempton *et al.* (2015), alguns desses benefícios incluiria a melhoria do desempenho, funcionalidade e qualidade ambiental das edificações históricas. No entanto, apesar das vantagens já verificadas a partir da ampla adoção do BIM nas fases de projeto e gestão do ciclo de vida de novos edifícios, poucas pesquisas têm explorado o valor do BIM na documentação e gestão das construções históricas e paisagens culturais (FAI *et al.*, 2011). O Mapa de Danos, por exemplo – “[...] valioso expediente técnico para o registro (documentação) do estado de conservação de uma edificação.” (TINOCO, 2009, p. 13) – ainda é usualmente produzido em sistemas de representação bidimensional; que não favorecem uma estruturação consistente das informações, tampouco a interoperabilidade. Portanto, a constatação desse problema norteou o desenvolvimento deste estudo.

Consonante aos argumentos de Acierno *et al.* (2017), a escolha por uma abordagem BIM como forma de solucionar essa questão, justifica-se principalmente pela possibilidade de associar informações semânticas aos componentes espaciais e físicos da edificação histórica no ambiente virtual, como: propriedades dos materiais, datação, caracterização dos danos e aspectos construtivos. Nesse cenário em que BIM é aplicado ao Patrimônio Cultural Construído – com o propósito de documentação, pesquisa, conservação ou gerenciamento de ativos – o processo é conceituado como Modelagem da Informação da Construção Histórica (**Historic Building Information Modeling, HBIM**) (GROETELAARS, 2015; HISTORIC ENGLAND, 2017).

A partir desse contexto, o objetivo principal deste artigo é apresentar os resultados qualitativos de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), desenvolvida com a finalidade de identificar o estado-da-arte de pesquisas relevantes que correlacionam os conceitos de **HBIM** e **Mapa de Danos** do Patrimônio Construído. Ademais, pretende-se avaliar os principais campos de aplicação, tecnologias utilizadas, possíveis lacunas evidenciadas pelos autores e potencialidades para trabalhos futuros.

Mas antes de abordar o método e os resultados alcançados, apresenta-se uma breve fundamentação teórica baseada em estudos primários, que subsidiou o conhecimento dos conceitos essenciais para construção dessa Revisão Sistemática da Literatura.

Fundamentação

Mapa de Danos

É importante salientar que os projetos para **conservação** e **restauro** do patrimônio cultural construído possuem especificidades que adicionam novas complexidades ao processo projetual para os arquitetos, engenheiros e especialistas nesta área. Uma dessas particularidades diz respeito à etapa do Diagnóstico (IPHAN, 2005). Essa etapa, fortemente focada na compreensão do “tecido histórico”, é o momento em que devem ser avaliados os desempenhos tecnológico-ambientais dessas construções, assim como seus **danos** e **patologias**, a fim de realizar intervenções adequadas para sanar as causas dos problemas (DE FINO *et al.*, 2018).

Especificamente no Brasil, um dos documentos essenciais dessa etapa diz respeito ao Mapa de Danos, que objetiva a representação gráfica de todos os danos identificados na edificação histórica, correlacionando-os aos seus agentes e causas (IPHAN, 2005). Apesar do Mapa de Danos fazer parte das exigências para a aprovação de projetos de intervenção junto aos órgãos de salvaguarda do patrimônio construído no Brasil, Tirello e Correa (2012) ressaltam a falta de um modelo para a elaboração desse documento, ou mesmo de clareza nos esclarecimentos básicos para orientar os registros. Essa ausência de uma normativa nacional quanto à representação gráfica e léxico técnico para o Mapa de Danos (TIRELLO; CORREA, 2012) tem implicações evidentes na qualidade das propostas projetuais de intervenção. Sobretudo, quando essa documentação existe de fato, apresenta-se incompleta ou inadequada (BARTHEL; LINS; PESTANA, 2009).

Soma-se a isso um entrave tecnológico nessa área atualmente: o fato de que a documentação do Mapa de Danos ainda é comumente realizada através de ferramentas computacionais limitadas à edição de desenhos (ex.: *software* AutoCAD), projetos disponíveis apenas impressos em papel e arquivamentos em gaveteiros para pastas suspensas (TINOCO, 2019). Essa metodologia tradicional dificulta o fluxo de informações entre as diferentes fases do projeto (BARTHEL; LINS; PESTANA, 2009); além disso, estabelece limitações quanto às possibilidades gráficas em interfaces bidimensionais, particularmente diante da complexidade das construções históricas (HISTORIC ENGLAND, 2005).

Conseqüentemente, o trabalho de revisão e atualização de todo o conjunto de informações registradas por meio de arquivos físicos (papel) ou fragmentadas em arquivos digitais desconexos torna-se improdutivo; consumindo muito tempo e recursos. Assim, considerando a importância da fase de diagnóstico, tais informações poderiam ser gerenciadas de forma mais eficiente e confiável (LIMA *et al.*, 2017).

A partir da comparação entre esses processos tradicionais de comunicação de projetos com os fluxos de documentação desenvolvidos para a metodologia BIM – até mesmo fluxos já consolidados para edificações existentes (VOLK; STENGEL; SCHULTMANN, 2014) – torna-se evidente que existe uma lacuna de alternativas a serem exploradas para auxiliar na documentação do Mapa de Danos para o Patrimônio Cultural Construído.

No que diz respeito à literatura especializada sobre Mapa de Danos – com exceção do acervo produzido na prática profissional (BARTHEL; LINS; PESTANA, 2009) – é constatada a escassez de estudos e publicações nessa área (TIRELLO; CORREA, 2012), particularmente no contexto brasileiro, o que foi verificado através das poucas publicações nacionais identificadas até o momento para essa pesquisa.

Modelagem da Informação da Construção Histórica (HBIM)

O termo HBIM foi introduzido por Murphy, McGovern e Pavia (2007), referindo-se inicialmente a uma metodologia de digitalização de dados provenientes de levantamentos arquitetônicos por Fotogrametria Digital e/ou 3D *Laser Scanning* para o desenvolvimento de modelos parametrizados. Por consequência, a compreensão da metodologia HBIM ainda está muito atrelada à documentação geométrica do Patrimônio Construído (CHENG; YANG; YEN, 2015; JIA *et al.*, 2017; KHODEIR; ALY; SHAIMAA, 2016), principalmente nas questões relacionadas à construção de modelos paramétricos e bibliotecas associadas. No entanto, HBIM não deve comportar apenas as informações geométricas, a partir da compreensão de que a geometria é apenas uma fração daquilo que é esperado para fins do desenvolvimento de um projeto de restauro e conservação (TOLENTINO, 2016).

Vale destacar que HBIM também foi denominado **Heritage Building Information Modelling** (JORDAN-PALOMAR *et al.*, 2018), um termo mais amplo que inclui dados históricos, políticas de conservação e valores de significância (SPANISH MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE AND SPORTS, 2004).

Desde então, apesar da metodologia abranger novas aplicações nos últimos anos, algumas questões primordiais ainda se apresentam desafiadoras, como: a modelagem de formas não padronizadas; automação na conversão de dados de levantamentos digitais em objetos semânticos; e métodos para a documentação e gestão de dados (DI STEFANO *et al.*, 2019).

Este estudo em particular parte do pressuposto de que a metodologia **HBIM** tem potencial para melhorar a documentação de um Mapa de Danos tradicional, simplificando processos de mapeamento, comunicação e atualização de dados. Essa hipótese foi baseada nas seguintes constatações com relação à BIM:

- Compreende um excelente repositório para a gestão de dados, facilitando o acesso e a troca de informações, armazenadas em um banco de dados único (MEADATI; IRIZARRY, 2010; REDMOND *et al.*, 2012);
- Melhora a colaboração e comunicação entre os diferentes profissionais envolvidos nos diferentes projetos do setor da AECO (EASTMAN *et al.*, 2014; SUCCAR, 2009);
- Permite a sistematização e recuperação de diversas informações relevantes para a conservação e gestão do ciclo de vida das edificações históricas (FAI *et al.*, 2011; JORDAN-PALOMAR *et al.*, 2018);
- Possibilita a inserção e atualização de informações resultantes das inspeções diagnósticas das construções históricas (BRUMANA *et al.*, 2018a; HAM; GOLPARVAR-FARD, 2015);
- Fornece recursos computacionais que permitem inserir dados semânticos relacionados aos danos em um modelo virtual da construção (DI STEFANO *et al.*, 2019; MALINVERNI *et al.*, 2019).

Portanto, fica evidente que a possibilidade de reunir informações sobre as edificações históricas em um repositório – organizado espacialmente e capaz de integrar dados progressivamente à luz de investigações posteriores – seria especialmente vantajoso ao patrimônio construído, do qual o conhecimento é geralmente dividido entre muitos especialistas (TUCCI; CONTI; FIORINI, 2018). Apesar disso, a metodologia HBIM ainda é utilizada esporadicamente e de forma experimental (ORENI *et al.*, 2017).

Método

Essa pesquisa aborda o desenvolvimento de uma RSL que compreende de uma estratégia para encontrar, avaliar criticamente e agregar resultados de estudos primários relevantes, com o objetivo de identificar possíveis lacunas na literatura e que possa resultar em um relatório coerente ou em uma síntese (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). Objetivamente, um fator importante para a escolha desse método é a possibilidade de orientar a execução de uma revisão bibliográfica estruturada, cujos resultados e conclusões sejam isentos de propensões tendenciosas (KITCHENHAM, 2004).

O primeiro passo foi definir um fluxo de trabalho para a condução da RSL. Para tanto, baseou-se no método sugerido por Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), compilado dentro de 6 etapas: (1) **Definição da Questão**; (2) **Estratégia de Busca**; (3) **Triagem e Elegibilidade**; (4) **Avaliação da Qualidade**; (5) **Síntese dos Resultados** e (6) **Apresentação do Estudo** (Figura 1).

Figura 1 – Etapas do método para condução de RSL, adaptadas de Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015)



Fonte: os autores.

A **Definição da Questão** compreende os aspectos teóricos abordados anteriormente na introdução e fundamentação, cujo foco principal diz respeito especificamente à identificação de pesquisas que tratam da aplicação de HBIM à Documentação dos Danos e Patologias das construções históricas, com vistas à Conservação e Restauro.

A partir dessa delimitação teórica, estabeleceu-se a **Estratégia de Busca**, cujo aspecto principal é mapear as publicações mais atuais e focadas na correlação das temáticas HBIM e Mapa de Danos, a partir dos seguintes condicionantes de abrangência:

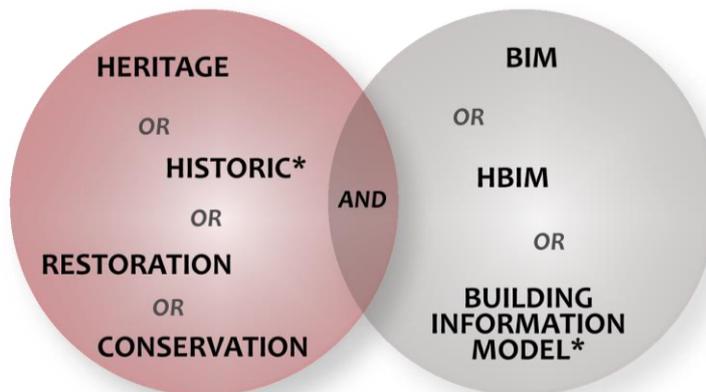
- Somente estudos que contenham uma combinação entre os termos, mas não necessariamente todos: *BIM, HBIM, Building Information Modeling, Building Information Model, Damage, Pathology, Heritage, Historic, Historical, Restoration e Conservation*;
- Somente artigos de periódicos, artigos de congressos, livros ou capítulos de livros;
- Somente trabalhos disponíveis nas bases de dados digital Scielo, ScienceDirect, Scopus e Web of Science;
- Somente publicações com incidência de pelo menos um dos termos no título, palavras-chave ou resumo;
- Somente trabalhos no campo científico da AECO;
- Somente trabalhos publicados no período de jan. 2010 a dez. de 2019;
- Somente publicações em espanhol, inglês, italiano ou português.

A partir da definição dos termos, iniciou-se testes de possíveis combinações em *strings* de busca, utilizando-se dos operadores **“AND”** (inclui nos resultados a combinação de

todos os termos separados pelo operador) e “OR” (alterna nos resultados a combinação entre um item e outro separados pelo operador). A conformação de cada *string* foi adaptada a partir das recomendações de busca de cada base de dados.

Como não foi possível identificar na revisão bibliográfica preliminar, nenhum estudo que apontasse uma primeira publicação nessa área, optou-se por realizar a busca considerando um período inicial de cinco anos (jan. 2015 a dez. 2019). Outra estratégia para o primeiro teste, foi separar os termos em dois grupos distintos, suprimindo os termos mais específicos “**Damage**” e “**Pathology**”, de forma a avaliar o nível de abrangência de uma primeira busca. Essa primeira combinação utilizou a seguinte *string* de busca: (“**Heritage**” OR “**Historic***” OR “**Restoration**” OR “**Conservation**”) AND (“**BIM**” OR “**HBIM**” OR “**Building Information Model***”) (Figura 2).

Figura 2 – Teste 1 para combinação dos termos de busca

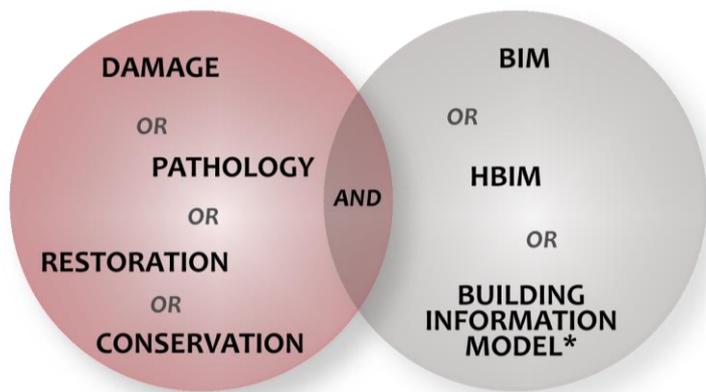


Fonte: os autores.

Essa primeira tentativa gerou resultados consistentes nas quatro bases de dados, com um total de 908 trabalhos encontrados. No entanto, em função do tempo e recursos disponíveis para a realização da leitura e avaliação, essa primeira amostragem mostrou-se inviável para a execução dentro do cronograma da pesquisa.

Portanto, buscou-se uma nova combinação dos termos, incorporando as palavras “**Damage**” e “**Pathology**”, mas suprimindo os termos “**Heritage**” e “**Historic***”, com a finalidade de alcançar maior especificidade dos resultados. Essa nova combinação conformou a seguinte *string* de busca: (“**Damage**” OR “**Pathology**” OR “**Restoration**” OR “**Conservation**”) AND (“**BIM**” OR “**HBIM**” OR “**Building Information Model***”) (Figura 3).

Figura 3 – Teste 2 para combinação dos termos de busca



Fonte: os autores.

Os resultados a partir dessa nova tentativa apresentaram-se satisfatórios em razão da coerência na inclusão dos termos relacionados aos danos e patologias e que, conseqüentemente, estabeleceu limites mais restritivos na ocorrência das correlações. Dessa forma, a soma das publicações resultantes por base de dados gerou um total de 45 resultados. Essa quantidade mostrou-se viável para uma análise qualitativa dentro do prazo da pesquisa.

Como fez parte do objetivo dessa pesquisa identificar os trabalhos mais atuais e relevantes nessa temática, foi estabelecido, inicialmente, o intervalo de tempo de 2015 a 2019. No entanto, devido à pequena amostragem obtida (45 resultados), optou-se por refazer a busca considerando o intervalo entre 2010 e 2019. Com isso, a busca obteve os mesmos resultados, indicando que a primeira publicação nessa área foi no ano de 2015, conforme análise bibliométrica apresentada por Silva e Cuperschmid (2019).

O próximo passo, foi realizar uma triagem dos 45 resultados com base em três critérios de seleção: (1) Duplicidade; (2) Área do Conhecimento; e (3) Acesso. Esse processo compreendeu a etapa de **Triagem e Elegibilidade** (Figura 4).

Figura 4 – Fluxograma de triagem dos resultados com base nos critérios de elegibilidade



Fonte: os autores.

A primeira filtragem compreendeu o “critério 1” **verificação de publicações duplicadas** entre os resultados das bases de dados, que identificou 9 duplicações. O processo seguinte correspondeu a seleção pelo “critério 2” **avaliação da inclusão das pesquisas na área do conhecimento da AECO**, já que apenas duas das quatro bases de dados (Web of Science e Scopus) permitiram filtrações por áreas do conhecimento. A partir disso, 8 publicações foram excluídas por pertencerem aos domínios da Medicina.

O “critério 3” abarcou a **certificação de acesso às publicações para leitura integral**, seja através das bases de dados digital, pela Rede Social ResearchGate ou disponibilizadas pelos respectivos autores via contato por e-mail. Nesse caso, dois resultados foram excluídos por indisponibilidade de acesso por nenhum desses caminhos.

Após a conclusão dessa etapa, **26 artigos foram classificados** para a etapa de **Avaliação da Qualidade**, baseada na leitura integral e análise crítica dos trabalhos. No decorrer dessa análise, buscou-se respostas para as seguintes questões:

- *Em qual campo de aplicação o trabalho melhor se enquadraria?*
- *A pesquisa utilizou algum patrimônio construído para demonstrar a aplicação da abordagem metodológica? E se existiu um objeto de estudo, qual o tipo de construção? De qual período? E qual o sistema construtivo?*
- *Quais são os danos, as patologias e a origem das manifestações retratadas nas investigações?*
- *Quais são as principais técnicas e tecnologias utilizadas pelos autores?*
- *Os autores evidenciaram alguma lacuna de pesquisa para trabalhos futuros?*

A partir da obtenção desses dados, foi possível organizar e categorizar as informações encontradas para uma compreensão do estado-da-arte das pesquisas nessa área, desenvolvidas entre os anos de 2015 e 2019.

O próximo tópico apresenta os resultados e a discussão extraídos dessa avaliação. Na sequência, a **Síntese dos Resultados** é apresentada na seção “Conclusão” e a última etapa **Apresentação do Estudo**, compreende a publicação deste artigo.

Resultados e Discussão

Buscou-se inicialmente compreender em que campo de aplicação cada investigação melhor se enquadraria. Dessa forma, foi possível categorizar cada pesquisa dentro de sete campos de aplicação no patrimônio construído (Quadro 1).

Quadro 1 – Categorias de campos de aplicação no patrimônio construído

Campos de aplicação no patrimônio construído	Referências
Avaliação Estrutural	[2] [3] [4] [8] [12] [13] [14] [17] [22] [23] [25]
Documentação dos Danos e/ou Patologias	[6] [8] [9] [21] [22] [26]
Gestão das Obras de Intervenção	[5] [18] [19] [24]
Gestão dos Projetos de Restauro e Conservação	[1] [19]
Modelagem HBIM	[8] [10] [11] [15] [17] [20] [21]
Reconstrução Digital	[7]
Revisão de Literatura	[16]

Fonte: os autores.

Salienta-se que uma investigação poderia se enquadrar em mais de uma categoria. Como resultado, é possível identificar em quais campos de especialidade as pesquisas tiveram maior enfoque (Figura 5).

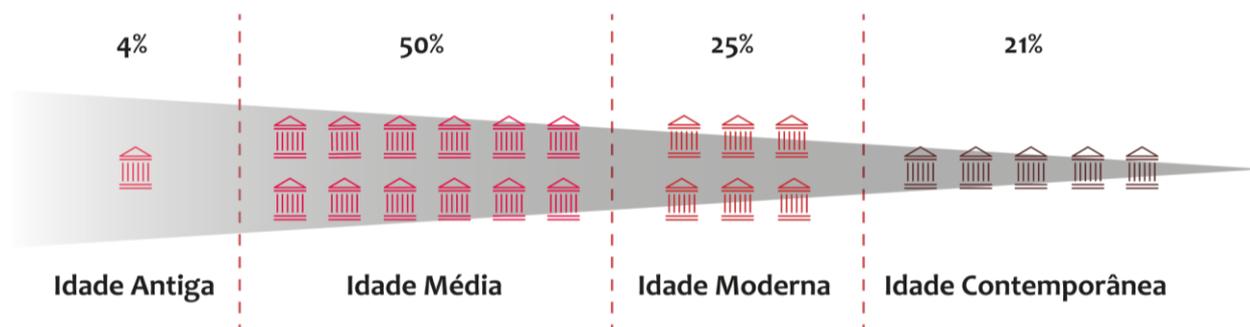
Esse resultado mostra que 42% dos trabalhos analisados têm foco na Avaliação Estrutural das Construções Históricas, seguido pelos estudos relacionados à Modelagem HBIM e Documentação dos Danos e/ou Patologias. Dos 26 artigos analisados, 24 utilizaram objetos de estudos para demonstrar a aplicação da abordagem metodológica, enquanto um aplicou a uma edificação histórica hipotética (VIDOVŠKY, 2016) e outro abordou uma Revisão da Literatura (KHALIL; STRAVORAVDIS, 2019). Observou-se um maior enfoque das pesquisas em construções do período medieval (50%), seguido pelas construções da Idade Moderna (25%) (Figura 6). Vale ressaltar que somente um artigo abordou uma construção da Antiguidade – Sítio Arqueológico de Baelo Claudia, conjunto arquitetônico e urbanístico romanos, remanescentes do século II a.C., em Cádiz, Espanha (ANTÓN et al., 2019).

Figura 5 – Campos de aplicação no patrimônio construído x número de artigos



Fonte: os autores.

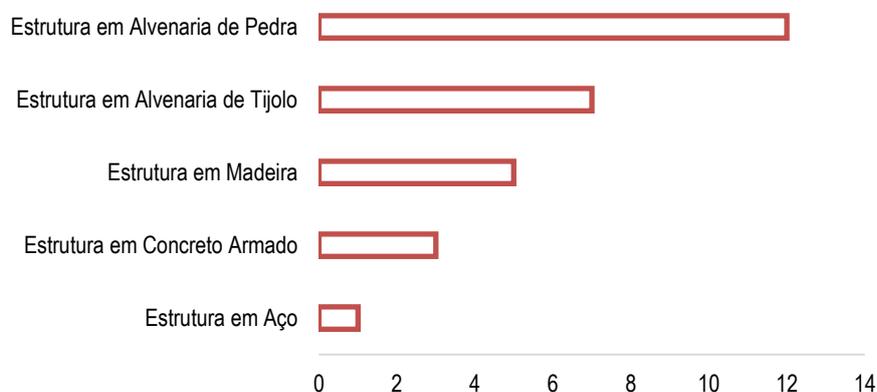
Figura 6 – Cronologia por período histórico x porcentagem dos objetos de estudo dos artigos



Fonte: os autores.

Em relação aos sistemas construtivos, a estrutura em alvenaria de pedra foi predominante, seguida da alvenaria de tijolo e estrutura em madeira (Figura 7). Os sistemas construtivos que utilizam estruturas de aço e concreto armado, estão entre os menos estudados.

Figura 7 – Sistemas construtivos x número de artigos



Fonte: os autores.

Dentre as construções do período medieval, as localizadas na Europa caracterizam-se, em sua maioria, em estruturas de alvenaria; já as construções asiáticas desse mesmo período são predominantemente em estruturas de madeira.

Das construções da Idade Contemporânea, é importante destacar que o único estudo que abordou uma construção inserida no contexto do Movimento Moderno, optou por uma edificação em estrutura de aço: uma planta industrial abandonada, localizada em um distrito suburbano de Milão na Itália (CRESPI *et al.*, 2015). Já as construções em concreto armado limitaram-se às obras de infraestrutura, como: ponte (BORIN; CAVAZZINI, 2019), barragem (BUFFI *et al.*, 2018) e túneis (SCHNEIDER *et al.*, 2019).

Em relação às Patologias das Construções Históricas, apenas três autores fizeram referências: corrosão das estruturas de aço (CRESPI *et al.*, 2015); recalque em fundações de pedra (HESS *et al.*, 2018); e corrosão na armadura do concreto armado (BORIN; CAVAZZINI, 2019). Por outro lado, houve maior ocorrência com relação às manifestações patológicas. Os principais danos e manifestações patológicas citados pelos autores foram: deformações excessivas das estruturas, fissuras ou trincas e deslocamento de revestimento (Figura 8).

Figura 8 – Danos e manifestações patológicas x número de artigos



Fonte: os autores.

Esse resultado deixa claro que, mais da metade dos artigos analisados procurou avaliar as deformações excessivas das estruturas, mostrando uma preocupação maior na compreensão da integridade estrutural do patrimônio cultural construído. Ademais, as fissuras e trincas também estão entre as manifestações mais estudadas; o que reforça uma atenção especial, por parte desses autores, com relação aos danos estruturais. No que diz respeito às causas da ocorrência das patologias e dos danos, o Quadro 2 apresenta uma síntese da origem dos problemas patológicos, quando abordada nas publicações.

Dessa forma, é notável que a maioria dos trabalhos que citam a origem dos danos buscou retratar aqueles causados por eventos sísmicos, mais especificamente pelos terremotos que ocorreram na Itália em abril de 2009, na região de Abruzzo (BRUMANA *et al.*, 2018b; LAURINI *et al.*, 2019; TRANI; CASSANO; TODARO, 2016); e em maio de 2012, nas regiões da Emilia-Romagna e Lombardia (ADAMI *et al.*, 2016; BIAGINI *et al.*, 2016).

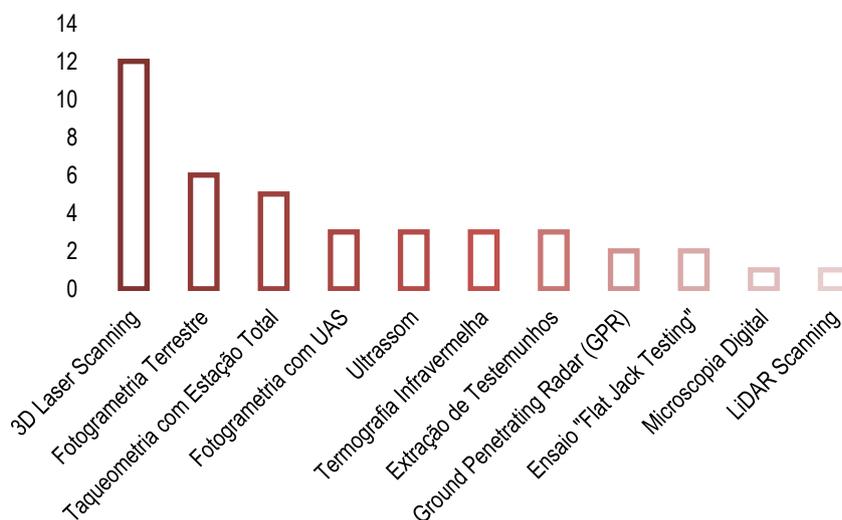
Quadro 2 – Origem dos problemas patológicos por artigos

Origem dos problemas patológicos	Referências
Inundações e Outros Desastres Ambientais	[11] [15]
Agressividade do Meio de Exposição	[11] [12] [26]
Anomalias no Comportamento Estrutural	[4]
Guerras	[13] [15]
Terremotos ou Sismos	[2] [5] [8] [18] [24] [25]
Falhas no Projeto	[6] [25]
Falhas na Construção	[6] [25]
Falhas no Restauro	[14] [17]
Falhas na Operação e Manutenção	[26]

Fonte: os autores.

No decorrer dessa análise, foram levantadas também as principais técnicas utilizadas pelos autores para a inspeção das construções históricas investigadas. Dos 26 trabalhos analisados, 12 utilizaram a técnica 3D *Laser Scanning* para o levantamento de dados geométricos das construções históricas, enquanto nove utilizaram Fotogrametria Digital; sendo seis por Fotogrametria Terrestre e três por Fotogrametria Aérea com *Unmanned Aircraft Systems* (UAS) (Figura 9).

Figura 9 – Técnicas de inspeção x número de artigos



Fonte: os autores.

Com relação ao levantamento de informações relacionadas às propriedades físicas, químicas e mecânicas dos elementos da construção, quatro trabalhos utilizaram Ensaio Não Destrutivo (END), como: *Ground Penetrating Radar* (GPR) (BARAZZETTI et al., 2015; BRUNO; FATIGUSO, 2018), Ultrassom (BARAZZETTI et al., 2015; BRUMANA et al., 2018b; CRESPI et al., 2015), Termografia Infravermelha (BARAZZETTI et al., 2015; BRUMANA et al., 2018b; BRUNO; FATIGUSO, 2018) e “*Flat Jack Testing*” (BARAZZETTI et al., 2015; BRUNO; FATIGUSO, 2018).

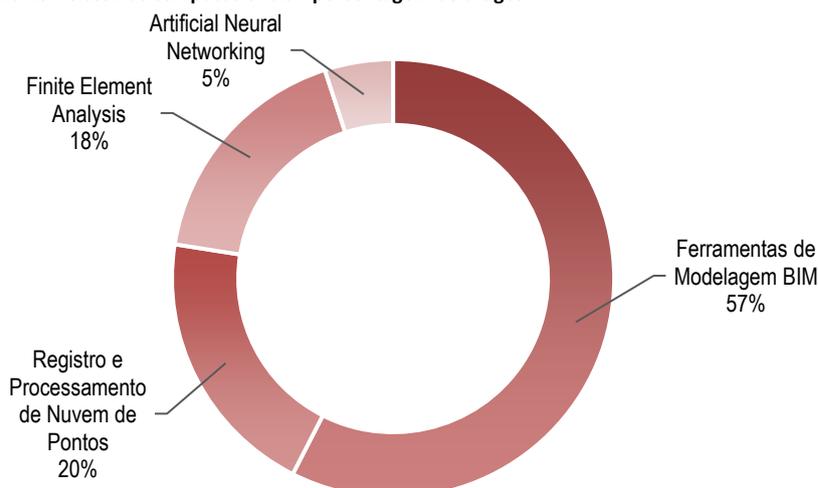
Por outro lado, três estudos utilizaram Ensaio Destrutivo através da Extração de Testemunhos para Análises Estratigráficas (BARAZZETTI et al., 2015; BRUNO; FATIGUSO, 2018) e para Análises Metalográfica e de Grau de Corrosão por Microscopia Digital (CRESPI et al., 2015).

Essas informações refletem uma tendência na utilização de novas tecnologias e técnicas não invasivas nas etapas de inspeção das construções históricas. Porém, os Ensaio

Destrutivos ainda são recorrentes, apesar de não serem desejados para investigações no campo do patrimônio cultural construído.

No que diz respeito aos sistemas computacionais, as ferramentas de modelagem BIM foram as mais utilizadas, com 57% dos artigos (Figura 10). Em seguida vem os sistemas para Registro e Processamento de Nuvem de pontos, com 20%, e Análise por Elementos Finitos – do inglês *Finite Element Analysis* (FEA) da metodologia *Finite Element Method* (FEM) – com 18%. Ainda, puderam ser verificados 5% dos artigos que desenvolveram Inteligência Artificial (IA) através de sistema de Rede Neural Artificial, mais conhecido como *Artificial Neural Networking* pelas publicações internacionais especializadas.

Figura 10 – Sistemas computacionais x porcentagem de artigos



Fonte: os autores.

A análise crítica dos principais resultados e conclusões apresentados pelos 26 trabalhos que compõem essa RSL permitiu não somente compreender os principais avanços já alcançados, como também os desafios desse campo científico ainda pouco explorado na academia. Dessa forma, para uma última análise, buscou-se sintetizar no Quadro 3 as lacunas de pesquisas quando evidenciadas por cada trabalho em suas conclusões:

Quadro 3 – Lacunas de pesquisa evidenciadas nas conclusões das publicações.

Lacunas de pesquisa	Referências
Bibliotecas paramétricas BIM específicas para suporte à gestão do canteiro de obras de restauro e conservação.	[5] [24]
Desenvolvimento tecnológico para detecção automatizada das degradações das construções históricas através de Visão Computacional e Inteligência Artificial.	[6] [22]
Interfaces tecnológicas entre BIM e Realidade Aumentada (RA) ou Realidade Misturada (RM) para a gestão das edificações históricas.	[8] [9] [19]
Interfaces tecnológicas entre BIM e <i>Geographic Information System</i> (GIS) para a gestão das edificações históricas.	[20] [15]
Metodologias para a integração de HBIM e <i>Internet of Things</i> (IoT) para gestão do canteiro de obras de restauro e conservação.	[18] [11]
Soluções para incorporar, extrair e quantificar dados diagnósticos utilizando modelos HBIM, para melhorar o desempenho do planejamento e gestão de obras de restauro e conservação.	[9] [26] [16]
Desenvolvimentos de algoritmos para conversão automatizada “BIM-to-FEM” e “FEM-to-BIM”.	[4] [14]

Fonte: os autores.

À vista disso, a síntese dessas informações auxiliou esse estudo na compreensão do problema e delimitação de um foco relevante de pesquisa, como também pode representar uma fonte eficaz, com informações objetivas, para trabalhos futuros que busquem referências dentro dessa área do conhecimento.

Conclusão

No que se refere ao campo de aplicação dos trabalhos, foi possível concluir que a grande maioria tem foco na Avaliação Estrutural das Construções Históricas, evidenciando uma busca maior pela compreensão do comportamento estrutural do patrimônio construído – principalmente as construções históricas danificadas por ações sísmicas – sendo os danos mais comuns: deformações estruturais excessivas, trincas e fissuras.

Por outro lado, apenas seis trabalhos (BORIN; CAVAZZINI, 2019; BRUMANA *et al.*, 2018b; BRUNO; FATIGUSO, 2018; REINOSO-GORDO *et al.*, 2018; SCHNEIDER *et al.*, 2019; VIDOVSZKY, 2016) tiveram como foco a aplicação de HBIM na Documentação dos Danos e/ou Patologias do Patrimônio Cultural Construído, demonstrando a escassez de estudos nesse domínio. Desses seis trabalhos, dois artigos destacaram-se pela utilização de metodologias baseadas em *Machine Learning* para a automatização de processos de identificação, quantificação e documentação de danos das construções históricas (BORIN; CAVAZZINI, 2019; SCHNEIDER *et al.*, 2019). Esses estudos utilizaram de recursos da Visão Computacional e Inteligência Artificial e são extremamente relevantes, pois buscaram uma documentação mais precisa e fidedigna.

Ressalta-se também que a maioria dos estudos desenvolveu processos para investigar questões relacionadas às informações geométricas do modelo HBIM, fato evidenciado pelo número expressivo de artigos (21) que exploram a metodologia BIM com o uso de dados das nuvens de pontos geradas a partir de levantamentos por 3D *Laser Scanning* e/ou Fotogrametria Digital.

Apenas três artigos buscaram extrapolar a investigação para além dos aspectos puramente geométricos, incorporando conceitos e processos que tratam da documentação das informações semânticas relativas à etapa do diagnóstico (ACIERNO *et al.*, 2017; BRUNO; FATIGUSO, 2018; VIDOVSZKY, 2016). Esses resultados indicam que é justamente na incorporação de dados semânticos atrelados à geometria que HBIM precisa evoluir de maneira a dar suporte à gestão dos projetos e obras de intervenção, da operação e da manutenção do patrimônio construído. Com isso, HBIM apoiaria efetivamente os profissionais dessa área, fornecendo um aporte metodológico para uma documentação diagnóstica abrangente, espacial, digital, mensurável, acessível e gerenciável ao longo de todo o ciclo de vida das construções históricas.

Com relação às lacunas de pesquisa evidenciadas pelas publicações, foi possível constatar que existe uma variedade de demandas por investigações científicas e desenvolvimento tecnológico para a documentação digital do patrimônio construído, particularmente soluções para automatização e integração entre ferramentas de modelagem BIM e outras interfaces tecnológicas, como: FEM, IA, RA, IoT e GIS. Essas implementações poderiam ocorrer em quatro diferentes fases, conforme apontado pelos estudos: (1) Inspeção Diagnóstica; (2) Mapeamento dos Danos e Patologias; (3) Gestão de Projetos de Intervenção no Patrimônio Construído; e (4) Gestão de Obras de Conservação e Restauro.

Quanto à documentação para o Mapeamento dos Danos, de modo geral, a utilização da metodologia HBIM apresenta-se como estudos iniciais, em decorrência da identificação de uma pequena amostragem de pesquisas e ainda em fase experimental. Foram constatadas distintas finalidades para a documentação diagnóstica utilizando a metodologia HBIM, como avaliação estrutural e gestão de obras de restauro. Isso evidencia que essa abordagem metodológica tem potencial para além do registro do estado de degradação e conservação das construções históricas.

Em suma, a partir dessa RSL, identifica-se a demanda pelo desenvolvimento de uma base gerencial que melhore a gestão das informações, simplifique a comunicação entre equipes multidisciplinares e que, conseqüentemente, forneça maior suporte a tomada de decisões ao longo de todo o ciclo de vida do Patrimônio Cultural Construído.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) pelo suporte institucional no desenvolvimento desta pesquisa.

Notas

(1) Os resultados duplicados foram identificados através da ferramenta “Check for Duplicates” da plataforma Mendeley.

Referências

- ACIERNO, M. *et al.* Architectural heritage knowledge modelling: An ontology-based framework for conservation process. **Journal of Cultural Heritage**, v. 24, p. 124-133, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.09.010>.
- ARAYICI, Y. Towards Building Information Modelling for Existing Structures. **Structural Survey**, v. 26, n. 3, p. 210-222, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/02630800810887108>.
- BARTHEL, C.; LINS, M.; PESTANA, F. O papel do mapa de danos na conservação do patrimônio arquitetônico. In: CONGRESO IBEROAMERICANO, 1.; JORNADA DE TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO, 8., 2009, Buenos Aires. **Proceedings** [...]. Buenos Aires: LEMIT, 2009.
- BRUMANA, R. *et al.* Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOI): surveying, preservation, site intervention – the Basilica di Collemaggio (L’Aquila). **Applied Geomatics**, v. 10, p. 545-567, 2018a. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12518-018-0233-3>.
- BRUMANA R. *et al.* SCAN to HBIM-Post Earthquake Preservation: Informative Model as Sentinel at the Crossroads of Present, Past, and Future. In: IOANNIDES M. *et al.* (ed.). **Digital Heritage**. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation and Protection. [S. l.]: Springer, 2018b. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-01762-0_4.
- CAVALCANTI NETO, J. R.; AMORIM, A. L. Simulação Digital: Modelos Digitais Fotorealísticos no Mapeamento e Quantificação de Patologias em Projetos de Restauração. In: CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 10., 2006, Santiago. **Proceedings** [...]. Santiago: SIGRADI, 2006.
- CHENG, H. M.; YANG, W. B.; YEN, Y. N. BIM applied in historical building documentation and refurbishing. In: CIPA INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 25., 2015, Taipei. **Proceedings** [...]. Taipei: ISPRS, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-85-2015>.
- DE FINO, M. *et al.* ‘Augmented diagnostics’ for the architectural heritage. **International Journal of Heritage Architecture**, v. 2, n. 2, p. 248-260, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2495/HA-V2-N2-248-260>.
- DEZEN-KEMPTER, E. *et al.* Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 10, n. 2, p. 113-124, 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/gtp.v10i2.102710>.
- DI STEFANO, F. *et al.* HBIM Implementation for an Ottoman Mosque. Case of Study: Sultan Mehmet Fatih II Mosque in Kosovo. In: CIPA INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 27., 2019, Avila. **Proceedings** [...]. Avila: ISPRS, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-429-2019>.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia.** Porto Alegre: Bookman, 2015.

EASTMAN, C. M. *et al.* **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores.** Porto Alegre: Bookman, 2014.

FAI, S. *et al.* Building Information Modelling and Heritage Documentation. *In: CIPA INTERNATIONAL SYMPOSIUM*, 23., 2011, Prague. **Proceedings** [...]. Prague: ISPRS, 2011.

GROETELAARS, N. J. **Criação de Modelos BIM a partir de “Nuvens de Pontos”: Estudo de Métodos e Técnicas para Documentação Arquitetônica.** Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

HAM, Y.; GOLPARVAR-FARD, M. Mapping actual thermal properties to building elements in gbXML-based BIM for reliable building energy performance modeling. **Automation in Construction**. v. 49, part B, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.07.009>.

HISTORIC ENGLAND. **BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model.** Swindon: Historic England, 2017. Disponível em: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/bim-for-heritage/heag-154-bim-for-heritage>. Acesso em: 10 fev. 2019.

HISTORIC ENGLAND. **The Presentation of Historic Building Survey in CAD.** Swidon: Historic England, 2005.

IPHAN - INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL. **Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural.** Cadernos Técnicos, n. 1, Brasília: Ministério da Cultura, Instituto do Programa Monumenta, 2005.

JIA, J. *et al.* Research of Ancient Architectures in Jin-Fen Area Based on GIS&BIM Technology. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DAMAGE ASSESSMENT OF STRUCTURES*, 12., 2017, Kitakyushu. **Proceedings** [...]. Kitakyushu: IOP Publishing, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/842/1/012035>.

JORDAN-PALOMAR, I. *et al.* Protocol to Manage Heritage-Building Interventions Using Heritage Building Information Modelling (HBIM). **Sustainability**, v. 10, n. 908, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10040908>.

KHODEIR, L.; ALY, D.; SHAIMAA T. Integrating HBIM (Heritage Building Information Modeling) tools in the application of sustainable retrofitting of heritage buildings in Egypt. **Procedia Environmental Sciences**, v. 34, p. 258–270, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.024>.

KITCHENHAM, B. **Procedures for Performing Systematic Reviews.** Joint Technical Report, Software Engineering Group, Keele University and Empirical Software Eng. National ICT Australia, 2004.

LIMA, R. H. F. *et al.* Mapa de Danos de Edificações Históricas utilizando a Metodologia BIM. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO*, 1.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 10., 2017, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: ANTAC, 2017.

MALINVERNI, E. S. *et al.* Modelling in HBIM to Document Materials Decay by a Thematic Mapping to Manage the Cultural Heritage: the Case of “Chiesa Della Pietá” in Fermo. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF GEOMATICS AND RESTORATION*, 2., 2019, Milan. **Proceedings** [...]. Milan: ISPRS, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-Archives-XLII-2-W11-777-2019>.

MEADATI, P.; IRIZARRY, J. **BIM - A Knowledge Repository.** 2010. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/3075/01e903383f02c5b60172baaf7317f007dfoe.pdf?_ga=2.25564542.219086938.1596418529-940649878.1596418529. Acesso em: 2 ago. 2020.

MESQUITA, E. *et al.* **Caracterização, avaliação e recuperação estrutural de construções históricas.** Boletín Técnico, Mérida: ALCONPAT Int., 2015.

MURPHY, M.; MCGOVERN, E.; PAVIA, S. Parametric Vector Modelling of Laser and Image Surveys of 17th Century Classical Architecture in Dublin. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, ARCHAEOLOGY AND CULTURAL HERITAGE, 8., 2007, Brighton. **Proceedings** [...]. Goslar: EUROGRAPHICS, 2007.

ORENI, D. et al. Survey, HBIM and Conservation Plan of a Monumental Building Damaged by Earthquake. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF GEOMATICS AND RESTORATION, 1., 2017, Florence. **Proceedings** [...]. Florence: ISPRS, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-337-2017>.

REDMOND, A. et al. Exploring how information exchanges can be enhanced through Cloud BIM. **Automation in Construction**, v. 24, p. 175-183, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.02.003>.

SILVA, F. B. L.; CUPERSCHMID, A. R. M. HBIM e Patologias das Edificações Históricas: uma Análise Quantitativa da Revisão Sistemática da Literatura. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E PATRIMÔNIO CULTURAL, 1., 2019, São Carlos. **Anais** [...]. São Carlos: IAU-USP, 2019.

SPANISH MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE AND SPORTS. **Plan Nacional de Abadías, Conventos y Monasterios [National Plan For abbey, Convents and Monasteries]**. Spanish Government in collaboration with the Sacred Catholic Church: Madrid, Italy, 2004.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>.

TINOCO, J. E. L. **Mapa de Danos – Recomendações Básicas**. Textos para Discussão, v. 43, série 2: Gestão de Restauro. Olinda: Centro de Estudos Avançados da Conservação Integrada (CECI), 2009.

TINOCO, J. E. L. **Ficha de Identificação de Danos – FID na modelagem de um Mapa de Danos**. Textos para Discussão, v. 65, série 2: Gestão de Restauro. Olinda: Centro de Estudos Avançados da Conservação Integrada (CECI), 2019.

TIRELLO, R. A.; CORREA, R. H. Sistema Normativo para Mapa de Danos de Edifícios Históricos Aplicado à Lidgerwood Manufacturing Company de Campinas. In: COLÓQUIO LATINO-AMERICANO SOBRE RECUPERAÇÃO E PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO INDUSTRIAL, 6., 2012, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: Centro Universitário Belas Artes de São Paulo, 2012.

TOLENTINO, M. M. A. A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Patrimônio Arquitetônico. In: CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 20., 2016, Buenos Aires. **Proceedings** [...]. Buenos Aires: SIGRADI, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2016-534>.

TUCCI, G.; CONTI, A.; FIORINI, L. Geomatics for structural assessment and surface diagnostic of CH. **Procedia Structural Integrity**, v. 11, p. 2-11, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.11.002>.

VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - literature review and future needs. **Automation in Construction**, v. 38, p. 109-127, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>.

Bibliografia [Artigos Classificados pela RSL]

[1] ACIERNO, M. et al. Architectural heritage knowledge modelling: An ontology-based framework for conservation process. **Journal of Cultural Heritage**, v. 24, p. 124-133, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.09.010>.

[2] ADAMI, A. et al. The survey of cultural heritage after an earthquake: the case of Emilia-Lombardia in 2012. In: ISPRS CONGRESS, 23., 2016, Prague. **Proceedings** [...]. Prague: ISPRS, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B5-161-2016>.

- [3] ANTÓN, D. et al. As-Built 3D Heritage City Modelling to Support Numerical Structural Analysis: Application to the Assessment of an Archaeological Remain. **Remote Sensing**, v. 11, n. 1276, p. 1-37, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs1111276>.
- [4] BARAZZETTI, L. et al. Cloud-to-BIM-to-FEM: Structural simulation with accurate historic BIM from laser scans. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 57, p. 71-87, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2015.06.004>.
- [5] BIAGINI, C. et al. Towards the BIM implementation for historical building restoration sites. **Automation in Construction**, v. 71, p. 74-86, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.003>.
- [6] BORIN, P.; CAVAZZINI, F. Condition Assessment of RC Bridges, Integrating Machine Learning, Photogrammetry and BIM. In: CIPA INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 27., 2019, Avila. **Proceedings [...]**. Avila: ISPRS, 2019. p. 201-208. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-201-2019>.
- [7] BUFFI, G. et al. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Building Information Modelling (BIM) Technologies in Concrete Dam Management: The Case of Ridracoli. **IN_BO - Ricerche e progetti per il territorio, la città e l'architettura**, v. 9, n. 13, p. 36-43, 2018.
- [8] BRUMANA R. et al. SCAN to HBIM-Post Earthquake Preservation: Informative Model as Sentinel at the Crossroads of Present, Past, and Future. In: IOANNIDES M. et al. (ed.). **Digital Heritage**. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation and Protection. [S. l.]: Springer, 2018b. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-01762-0_4.
- [9] BRUNO, S.; FATIGUSO, F. Building Conditions Assessment of Built Heritage in Historic Building Information Modeling. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v. 13, n. 1, p. 36-48, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2495/SDP-V13-N1-36-48>.
- [10] CASTELLANO-ROMÁN, M.; PINTO-PUERTO, F. HBIM Oriented Towards the Master Plan of the Charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain). In: CIPA INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 27., 2019, Avila. **Proceedings [...]**. Avila: ISPRS, 2019. p. 285-290. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-285-2019>.
- [11] CHENG, H. M.; YANG, W. B.; YEN, Y. N. BIM applied in historical building documentation and refurbishing. In: CIPA INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 25., 2015, Taipei. **Proceedings [...]**. Taipei: ISPRS, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-85-2015>.
- [12] CRESPI, P. et al. The Industrial Building Heritage: first steps for the Damages Evaluation of Innocenti-Maserati Structural Plant. In: FORUM INTERNAZIONALE DI STUDI 'LE VIE DEI MERCATI', 13., 2015, Napoli. **Proceedings [...]**. Napoli: La scuola di Pitagora editrice, 2015.
- [13] DORE, C. et al. Structural Simulations and Conservation Analysis - Historic Building Information Model (HBIM). In: 3D VIRTUAL RECONSTRUCTION AND VISUALIZATION OF COMPLEX ARCHITECTURES, 1., 2015, Avila. **Proceedings [...]**. Avila: ISPRS, 2015. p. 351-357. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-351-2015>.
- [14] HESS, M. et al. Terrestrial laser scanning for the comprehensive structural health assessment of the Baptistery di San Giovanni in Florence, Italy: an integrative methodology for repeatable data acquisition, visualization and analysis. **Structure and Infrastructure Engineering**, v. 14, n. 2, p. 247-263, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/15732479.2017.1349810>.
- [15] JIA, J. et al. Research of Ancient Architectures in Jin-Fen Area Based on GIS&BIM Technology. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DAMAGE ASSESSMENT OF STRUCTURES, 12., 2017, Kitakyushu. **Proceedings [...]**. Kitakyushu: IOP Publishing, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/842/1/012035>.
- [16] KHALIL, A.; STRAVORAVDIS, S. H-BIM and the domains of data investigations of heritage buildings current state of the art. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF GEOMATICS AND RESTORATION, 2., 2019, Milan. **Proceedings [...]**. Milan: ISPRS, 2019. p. 661-667. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-661-2019>.

- [17] LAI, D. S. et al. Cultural Heritage Preservation Using New Media Methods: Yingxian Wooden Pagoda, China. *Virtual Archaeology Review*, v. 10, n. 21, p. 103-115, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4995/var.2019.11071>.
- [18] LAURINI, E. et al. Technology 4.0 for building management: from building site to the interactive building book. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF GEOMATICS AND RESTORATION, 2., 2019, Milan. **Proceedings** [...]. Milan: ISPRS, 2019. p. 707-714. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-707-2019>.
- [19] MA, Y. P.; LIN, M. C.; HSU, C. C. Enhance architectural heritage conservation using BIM technology. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTER-AIDED ARCHITECTURAL DESIGN RESEARCH IN ASIA, 21., 2016, Hong Kong. **Proceedings** [...]. Hong Kong: CAADRIA, 2016. p. 477-486.
- [20] NOOR, S. et al. Modeling and representation of built cultural heritage data using semantic web technologies and building information model. **Computational and Mathematical Organization Theory**, v. 25, p. 247-270, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10588-018-09285-y>.
- [21] REINOSO-GORDO, J. F. et al. Cultural Heritage Conservation and Sustainability Based on Surveying and Modeling: The Case of the 14th Century Building Corral del Carbón (Granada Spain). **Sustainability**, v. 10, n. 1307, p. 1-16, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10051370>.
- [22] SCHNEIDER, O. et al. The use of artificial intelligence for a cost-effective tunnel maintenance. In: PEILA, D.; VIGGIANI, G.; CELESTINO, T. (ed.). **Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art**. London: CRC Press, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429424441-323>.
- [23] SOUSA, H. S.; SGUAZZO C.; CABALEIRO, M. Use of BIM in rehabilitation and assessment of the built heritage: from the visible to the intangible. In: IABSE SYMPOSIUM, 1., 2019, Guimarães. **Proceedings** [...]. Zurich: IABSE, 2019.
- [24] TRANI, M. L.; CASSANO, M.; TODARO, D. Assisted analysis on works interferences on restoration construction projects. In: FORUM INTERNAZIONALE DI STUDI 'LE VIE DEI MERCATI', 14., 2016, Napoli. **Proceedings** [...]. Napoli: La scuola di Pitagora editrice, 2016.
- [25] TUCCI, G.; CONTI, A.; FIORINI, L. Geomatics for structural assessment and surface diagnostic of CH. **Procedia Structural Integrity**, v. 11, p. 2-11, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.11.002>.
- [26] VIDOVSZKY, I. Impact-based Diagnostic Approach for Maintenance Monitoring of Historic Buildings. **Procedia Engineering**, v. 164, p. 575-582, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.660>.

ⁱ **Felipe Bruno Lima da Silva**

Arquiteto e Urbanista. Mestre pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Endereço postal: Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas, SP - Brasil. CEP: 13083-970.

ⁱⁱ **Ana Regina Mizrahy Cuperschmid**

Arquiteta e Urbanista. Doutora. Professora na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Endereço postal: Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas, SP - Brasil. CEP: 13083-970.