

## BIM para gerenciamento, operação e manutenção de instalações: revisão cientométrica e sistemática

*BIM for management, operation and maintenance of facilities: scientometric and systematic review*

Gabriela Alves Tenório de Morais 

Adiel Teixeira de Almeida Filho 

Rachel Perez Palha 

### Resumo

**N**os últimos anos a análise das condições de empreendimentos durante a fase de operação tem ganhado atenção, inclusive com o uso do *Building Information Modeling* (BIM). Neste âmbito, esta pesquisa tem por objetivo delinear as fronteiras do conhecimento e identificar direções de pesquisa futuras no que diz respeito aos usos do BIM para fins de gestão, operação e manutenção de instalações. Foi empregado um método misto de revisão que associou a análise cientométrica e revisão sistemática da literatura. Para condução da revisão inicialmente foram identificadas 4050 publicações da base de dados Scopus, que foram filtrados por meio do protocolo PRISMA e resultaram em 1004 publicações a serem analisadas. A frequência de fontes e citações e as redes de coocorrência de palavras-chave, de coautoria e de países compuseram a primeira análise. Em seguida, a análise sistemática do conjunto de dados foi realizada com o agrupamento das pesquisas em oito categorias diferentes. Como resultado, foi possível identificar que o campo “BIM para gestão, operação e manutenção das instalações” está em crescimento e que as finalidades de aplicação neste âmbito têm sido ampliadas, além de haver uma associação promissora das tecnologias emergentes com o BIM para este fim.

**Palavras-chave:** BIM-FM. *Building Information Modeling*. Gerenciamento de instalações. Operação e manutenção. Revisão sistemática da literatura.

### Abstract

*In recent years, the analysis of development conditions during the operation phase has gained attention, specially using Building Information Modeling (BIM). In this context, this research aims to delineate the frontiers of knowledge and identify future research directions with regard to the uses of BIM for the management, operation and maintenance of facilities. A mixed review method was employed, which combined scientometric analysis and a systematic literature review. To conduct the review, 4050 publications were initially retrieved from the Scopus database, which were filtered using the PRISMA protocol and resulted in 1004 publications to be analyzed. The frequency of sources and citations and the networks of co-occurrence of keywords, co-authorship of authors and countries composed the first analysis. Then, the systematic analysis of the data set was carried out, grouping the surveys into eight different categories. As a result, it was possible to identify that the field “BIM for management, operation and maintenance of facilities” is growing and that the purposes of application in this area have been expanded, in addition to there being a promising association of emerging technologies with BIM for this purpose.*

**Keywords:** BIM-FM. *Building Information Modeling*. Facilities management. Operation & maintenance. Systematic literature review.

<sup>1</sup>Gabriela Alves Tenório de Morais

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco  
Recife - PE - Brasil

<sup>2</sup>Adiel Teixeira de Almeida Filho

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pernambuco  
Recife - PE - Brasil

<sup>3</sup>Rachel Perez Palha

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pernambuco  
Recife - PE - Brasil

Recebido em 05/04/23

Aceito em 16/09/23

## Introdução

A gestão das instalações (*Facility Management* - FM), além de ser a fase mais cara do ciclo de vida dos empreendimentos (Coupry *et al.*, 2021), é fundamental para garantir a correta funcionalidade do ambiente construído (Edirisinghe *et al.*, 2017). De acordo com Succar (2009), *Building Information Modeling* (BIM) é um conjunto de políticas, processos e tecnologias que interagem criando uma metodologia para gerenciar os dados de projetos ao longo do ciclo de vida das edificações. Assim, BIM proporciona a integração de múltiplas plataformas que permitem aos gestores das instalações recuperar, analisar e processar informações das edificações em um ambiente digitalizado (Gao; Pishdad-Bozorgi, 2019), tornando a FM a área que mais se beneficia da integração com BIM (Pinti; Codinhoto; Bonelli, 2022).

Durdyev *et al.* (2022) pontuam que o uso de BIM para FM afetará positivamente o futuro da indústria da gestão das instalações bem como a digitalização do ambiente construído. Assim, o uso do BIM para fins de FM é um avanço importante (Kong *et al.*, 2022; Wu; Lepech, 2020). Porém, apesar do seu potencial e benefícios, o uso do BIM para FM permanece limitado e demanda progressos (Luo; Pritoni; Hong, 2021; Pinti; Codinhoto; Bonelli, 2022; Valinejadshoubi *et al.*, 2021), isso pode ser percebido especialmente pelo fato de que há mais estudos abordando as aplicações do BIM nas fases iniciais dos empreendimentos do que para as instalações após construção (Zhan *et al.*, 2019).

Neste sentido, pesquisas de revisão da literatura têm buscado investigar o uso do BIM para fins de FM. Precusores, Pärn, Edwards e Sing (2017) apresentaram uma revisão da trajetória do BIM quando associado a FM nas fases de Operação e Manutenção (O&M) das edificações. Com base nas análises, os autores identificaram a interoperabilidade, a melhoria de desempenho e o treinamento como desafios à integração BIM-FM e apontaram a necessidade de surgirem produtos comerciais e registro de práticas contemporâneas para BIM-FM. Da mesma forma, Edirisinghe *et al.* (2017) analisaram 207 artigos recuperados das bases *Google Scholar* e *Scopus* e de uma busca adicional no *Google* e elencaram benefícios e desafios do uso do BIM para FM e direções de pesquisas futuras que incluíam aplicações específicas de FM e ganhos de produtividade; aplicações avançadas em FM e regulações e adoção BIM. Já Gao e Pishdad-Bozorgi (2019) buscaram avaliar as capacidades do BIM para O&M, identificando tendências de pesquisa, lacunas do conhecimento e direções de pesquisas futuras. Para tal, os autores selecionaram 150 pesquisas que tratavam do BIM e O&M coletadas através de busca na *Web of Science* e em bases de dados de periódicos e conferências específicas. Os autores não consideraram as áreas de infraestrutura, levantamento de edifícios existentes, criação e avaliação do BIM, reforma, *retrofit* e demolição. Assim, a partir desta análise, Gao e Pishdad-Bozorgi (2019) apontaram que a pesquisa em BIM para O&M ainda é inicial e com maior foco no gerenciamento energético e que a interoperabilidade continuava a ser um desafio, além de terem apontado para a necessidade de serem realizados estudos sobre o retorno de investimento a fim de justificar o valor dos aplicativos BIM-O&M. Mais recentemente, Abideen *et al.* (2022) desenvolveram uma revisão sistemática no que tange aos potenciais do BIM para fins de O&M através da revisão de 196 artigos publicados nas bases de dados *Scopus*, *Web of Science* e *Engineering Village* e apontaram que as aplicações BIM para O&M ainda estão em desenvolvimento e são necessários estudos que abordem sua integração.

No âmbito das análises cientométricas, Hilal, Maqsood e Abdekhodae (2019) desenvolveram uma análise cientométrica com uso do software *VOSviewer* acerca do uso do BIM para FM. Os autores selecionaram 68 artigos publicados entre os anos de 2009 e 2018 recuperados da base de dados *Web of Science*. Eles também destacaram que mais pesquisas acerca da interoperabilidade no âmbito BIM-FM são necessárias. Já Wang, Ali e Au-Yong (2022) desenvolveram uma análise cientométrica acerca da gestão de instalações habilitadas para o BIM e se basearam em 286 artigos de periódico publicados na língua inglesa entre 2010 e 2020 recuperados da base de dados *Web of Science*. Os autores puderam apontar três direções de pesquisas futuras: melhoria da aplicação do BIM na gestão de múltiplas instalações, saúde e segurança para gerentes das instalações e melhorias das regulações e consciência de risco.

Algumas outras pesquisas de revisão da literatura dentro do campo BIM para FM buscaram responder questões específicas acerca dos seguintes temas:

- (a) barreiras à integração BIM-FM (Dixit *et al.*, 2019; Durdyev *et al.*, 2022);
- (b) troca de informação e interoperabilidade (Matarneh *et al.*, 2019);
- (c) sinergias com o *Lean* (Terreno; Asadi; Anumba, 2019);
- (d) integração com a Internet das Coisas (Mannino; Dejacco; Re Cecconi, 2021);
- (e) uso em empreendimentos de grande Capital (Asare; Liu; Anumba, 2022); e

(f) implementação em Organizações Públicas (Pinti; Codinhoto; Bonelli, 2022).

Diante da relevância do tema apresentado e das limitações identificadas em revisões da literatura prévias, a presente pesquisa, através da associação entre os métodos de revisão sistemática da literatura e análise cientométrica, apresenta uma análise da evolução e síntese das pesquisas que tratam do uso do BIM para fins de FM publicadas em todo o período de indexação da base de dados *Scopus*, levando à identificação de atuais tópicos de pesquisa, além de auxiliar na estruturação do conhecimento produzido dentro deste campo. Diferentemente das pesquisas anteriores, esta não se restringe à análise da integração BIM-FM para uma única aplicação, a exemplo dos trabalhos que estudaram especificamente a integração BIM-O&M, ou um tipo de empreendimento específico. Dessa forma, esta pesquisa se apresenta mais abrangente e oferece uma visão mais ampla, atual e sem vieses do campo de pesquisa. Assim, o objetivo desta pesquisa foi delinear as fronteiras do conhecimento, identificando direções de pesquisa futuras no que diz respeito ao campo dos usos BIM para fins de gestão, operação e manutenção de instalações.

Para tal, a pesquisa está estruturada em seis seções: onde a primeira Seção é a Introdução, a seção Metodologia da pesquisa apresenta o método da pesquisa, as questões centrais a serem respondidas pelo trabalho bem como os critérios de identificação, inclusão e exclusão de artigos na revisão; a seção Análise sistemática da literatura apresenta a análise cientométrica das fontes selecionadas; a seção Análise sistemática da literatura apresenta a análise sistemática da literatura quantificada na seção Análise bibliométrica e cientométrica; a seção Contribuição discute criticamente os resultados obtidos; e finalmente, a seção Conclusões apresenta as considerações finais da pesquisa.

## Metodologia da pesquisa

A fim de alcançar os objetivos propostos, foi adotado um método misto de revisão. Os métodos mistos de revisão somam as vantagens das abordagens quantitativas e qualitativas (Araújo; Pereira Carneiro; Palha, 2020; Hussein; Zayed, 2021), no caso do presente estudo, representadas pela análise bibliométrica e cientométrica, e revisão sistemática, respectivamente. Os métodos mistos se apresentam como uma solução para as deficiências dos paradigmas de pesquisa de abordagem única (Zou; Sunindijo; Dainty, 2014) e promovem a produção de pesquisas superiores em comparação ao uso de uma abordagem única (Johnson; Onwuegbuzie, 2004). A Figura 1 apresenta o delineamento da metodologia da pesquisa.

A parte quantitativa desta pesquisa foi realizada através da análise cientométrica, que é um método quantitativo que mapeia o conhecimento e sua evolução com base em uma larga base de dados científicos permitindo assim uma visão global dos padrões e tendências no campo de pesquisa (Martinez; Al-Hussein; Ahmad, 2019). Nesta pesquisa, o *software VOSviewer* (Van Eck; Waltman, 2010) foi utilizado para desenvolvimento da análise cientométrica. Desta forma, foi possível determinar as redes de coocorrências de palavras-chave, coautoria, países, cocitação de autores e documentos e acoplamento bibliográfico. Para leitura de tais mapas, é importante destacar que:

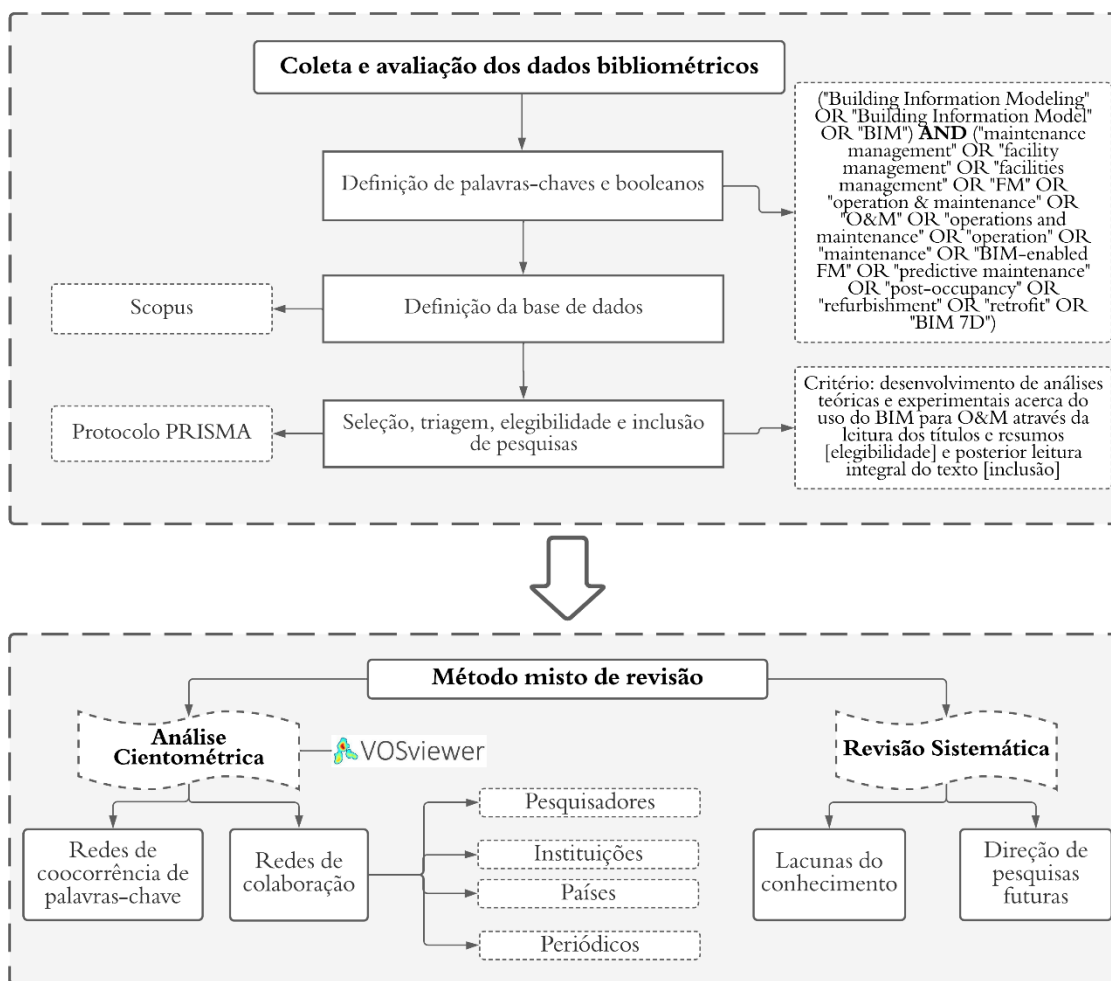
- (a) o tamanho do rótulo e do círculo determinam o peso do item;
- (b) a cor do item determina o agrupamento ao qual o item está relacionado; e
- (c) a proximidade entre os itens indica a força da relação.

A parte qualitativa da pesquisa aconteceu através da revisão sistemática da literatura, que teve por objetivo identificar as lacunas e apontar futuras direções de pesquisa. A revisão sistemática permite ao pesquisador identificar, selecionar e avaliar a literatura com clareza metodológica, ausência de vieses e “auditabilidade” (Booth *et al.*, 2022).

Greene, Caracelli e Graham (1989) defiram cinco objetivos para os métodos mistos:

- (a) triangulação - busca a convergência dos resultados de diferentes métodos e aumenta a validade dos resultados;
- (b) complementaridade - visa otimizar os resultados de um método com base nos resultados do segundo;
- (c) desenvolvimento - usa os resultados de um método para ajudar no desenvolvimento do outro;
- (d) iniciação - permite identificar paradoxos e contradições nos resultados obtidos; e
- (e) expansão - amplia o alcance da pesquisa.

Figura 1 - Visão global da metodologia da pesquisa



Estas formas de análise foram utilizadas através da leitura e análise dos artigos que fizeram parte da amostra, associando os conceitos apresentados nos artigos, comparando-os entre si e construindo uma visão consolidada sobre a área. Nos subtópicos a seguir será discutido o delineamento das abordagens quantitativa e qualitativa adotadas nesta pesquisa.

## Definição das questões relevantes para a pesquisa

Inicialmente, foram determinadas quais seriam as questões de pesquisa a serem respondidas através dos artigos selecionados na revisão sistemática da literatura. Onde a Questão 01 é se há um aumento da quantidade de publicações no campo BIM para gestão, operação e manutenção das instalações. A Questão 02 é se a quantidade de finalidades de aplicações de BIM para gestão, operação e manutenção tem crescido. Além disso, busca-se entender quais são as principais aplicações do BIM para esta área (Questão 03), quais tecnologias têm sido desenvolvidas para esta finalidade (Questão 04) e quais são as principais tendências de pesquisa da área (Questão 05). É importante destacar que estes pontos não estão apresentados de acordo com a ordem de importância.

## Coleta, triagem e elegibilidade dos dados bibliométricos

A metodologia da pesquisa se inicia com a identificação dos estudos relevantes dentro da área de interesse supracitada. Para tal, foram identificados trabalhos publicados na base de dados *Scopus* que está entre as bases mais utilizadas no âmbito das pesquisas sobre gestão da construção (Hussein; Zayed, 2021). Para a busca na *Scopus*, foi utilizada a combinação das seguintes palavras-chave e operadores booleanos: ("Building Information Modeling" OR "Building Information Model" OR "BIM") AND ("maintenance management" OR "facility management" OR "facilities management" OR "FM" OR "operation & maintenance" OR "O&M" OR

"operations and maintenance" OR "operation" OR "maintenance" OR "BIM-enabled FM" OR "predictive maintenance" OR "post-occupancy" OR "refurbishment" OR "retrofit" OR "BIM 7D"). A busca foi realizada em 07 de novembro de 2022 e foram identificados 4050 artigos em uma busca por título-resumo-palavras-chave (*TITLE-ABS-KEY*) para todos os anos na *Scopus*, considerando as publicações até 2022. Neste primeiro momento, nenhum critério de exclusão foi aplicado.

Em seguida, foi empregado o protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) (Moher *et al.*, 2009) para avaliação das 4050 pesquisas identificadas. O primeiro filtro aplicado foi através da análise dos títulos e resumos. Nesta fase 3046 artigos que não tratavam dos usos BIM para fins de gestão, operação e manutenção de instalações foram excluídos. Os artigos restantes foram submetidos à verificação da elegibilidade por meio da análise integral de seus textos, onde foram investigadas a metodologia empregada, as conclusões e contribuições propostas pelos autores. Após esta etapa, permaneceram incluídos 1004 artigos para desenvolvimento da presente pesquisa.

## Análise bibliométrica e cientométrica

Considerando outros trabalhos de Revisão Sistemática da Literatura (RSL) podemos destacar as diferenças entre esta revisão e as previamente publicadas, conforme Tabela 01. Aqueles períodos de busca em que aparece apenas que o ano foi parcialmente recuperado foram informados desta forma por não haver informação disponível no artigo.

Pärn, Edwards e Sing (2017) não se trata de uma RSL, uma vez que o artigo apresenta uma trajetória de como tem sido a evolução do BIM quando associado a aspectos de FM, sem especificar uma metodologia utilizada para busca e recuperação de artigos. Por isso, este trabalho não foi incluído na Tabela 1.

A Figura 2 apresenta a distribuição temporal dos 1004 artigos que foram selecionados para o desenvolvimento da pesquisa, os quais foram publicados entre os anos de 2004 e 2022 em 384 fontes por 2287 autores diferentes. O percentual de crescimento anual no número de publicações foi de 31,43%. Identifica-se o crescimento gradual no número de publicações no campo "BIM para gestão, operação e manutenção das instalações" sobretudo a partir de 2017. É importante ressaltar que a redução no número de publicações apresentada no ano de 2021 pode estar relacionada aos efeitos da pandemia da COVID-19. Além disso, cabe frisar que esta pesquisa foi desenvolvida anteriormente ao encerramento do ano de 2022, dessa forma, deve-se entender que o número de publicações apresentado para 2022 pode ser ligeiramente inferior ao total para este ano.

A Tabela 2 apresenta as dez fontes de publicação com mais artigos dentre os 1004 artigos recuperados, sendo consideradas as principais fontes neste estudo. Os periódicos *Automation in Construction*, *Facilities*, *Applied Sciences (Switzerland)*, *Buildings* e *Sustainability (Switzerland)* são responsáveis por aproximadamente 16% das publicações no campo de pesquisa. Houve um total de 165 periódicos e 220 conferências entre as fontes de publicação.

Os 10 artigos com maior número de citações dentro do conjunto avaliado são apresentados na Tabela 3. É possível perceber que os artigos mais citados apresentam em sua maioria mais de cinco anos de publicação e tratam de revisão da literatura ou proposição de abordagem para integração entre o BIM e a gestão das instalações.

Tabela 1 - Comparativo entre RSLs sobre BIM-FM

Referência	Base de dados	Quantidade de artigos	Período da busca
Edirisinghe <i>et al.</i> (2017)	<i>Google scholar e Scopus</i>	207	1996-2016 (parcial)
Gao e Pishdad-Bozorgi (2019)	<i>Web of Science</i>	150	2007 - 2018 (parcial)
Hilal, Maqsood e Abdekhodae (2019)	<i>Web of Science</i>	68	2000 – 2018 (abril)
Abideen <i>et al.</i> (2022)	<i>Scopus, Web of Science e Engineering Village</i>	196	2010 – 2022 (parcial)
Wang, Ali e Au-Yong (2022)	<i>Web of Science</i>	286	2010 - 2020
Esta pesquisa	<i>Scopus</i>	1004	2004 – 2022 (novembro)

Figura 2 - Distribuição temporal das publicações

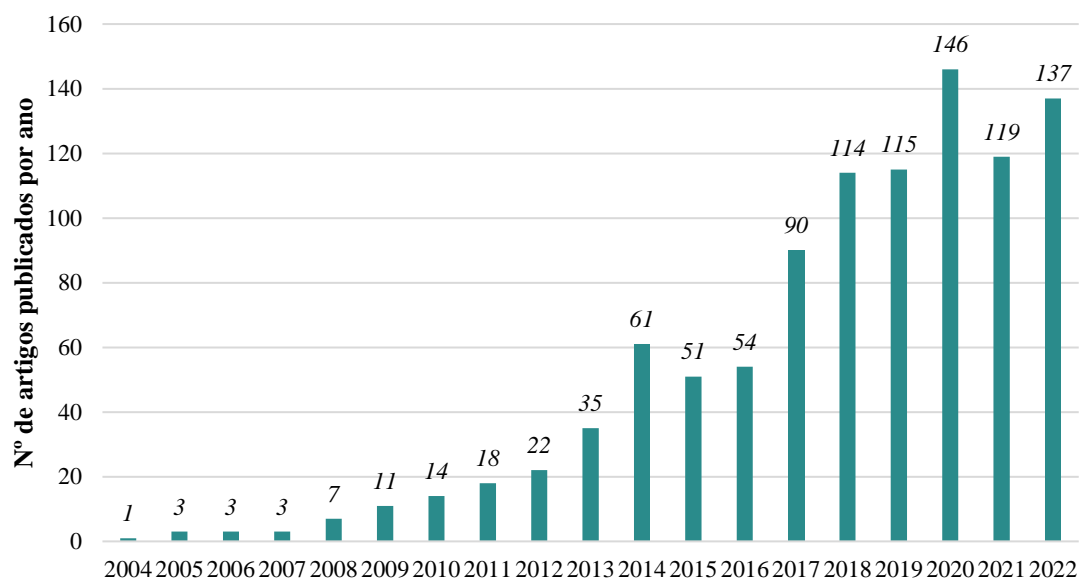


Tabela 2 - 10 fontes de publicações com maior quantidade de artigos

Fontes	Nº de artigos
<i>Automation in Construction</i>	68
<i>Facilities</i>	28
<i>Applied Sciences (Switzerland)</i>	22
<i>Buildings</i>	22
<i>IOP Conference Series: Earth and Environmental Science</i>	21
<i>Sustainability (Switzerland)</i>	21
<i>International Archives of The Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives</i>	20
<i>Procedia Engineering</i>	17
<i>IOP Conference Series: Materials Science and Engineering</i>	16
<i>Computing In Civil and Building Engineering - Proceedings of the 2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering</i>	14

Tabela 3 - 10 artigos com maior número de citações

Artigo	Periódico	Nº de citações	Descrição
Volk, Stengel e Schultmann (2014)	<i>Automation in Construction</i>	1214	Apresenta uma revisão da literatura acerca dos usos do BIM na fase de pós-ocupação das edificações
Becerik-Gerber <i>et al.</i> (2012)	<i>Journal of Construction Engineering and Management</i>	563	Aborda os usos existentes e potenciais do BIM para gestão das instalações
Vanlande, Nicolle e Cruz (2008)	<i>Automation in Construction</i>	250	Apresenta um método de indexação semântica baseado no <i>Industry Foundation Classes</i> (IFC) que permite a criação de um sistema de informação voltado ao ciclo de vida das edificações
Costa <i>et al.</i> (2013)	<i>Applied Energy</i>	241	Apresenta um <i>toolkit</i> para auxiliar os gestores das instalações na gestão do desempenho energético de edificações
Motawa e Almarshad (2013)	<i>Automation in Construction</i>	232	Apresenta um sistema para coletar dados das atividades de manutenção predial com vistas à determinar o grau de deterioração das instalações e auxiliar na tomada de decisão para realização de ações de manutenção
Pärn, Edwards e Sing (2017)	<i>Automation in Construction</i>	207	Apresenta uma revisão da literatura sobre as aplicações BIM na gestão das instalações durante as fases de operação e manutenção das edificações
Kang e Hong (2015)	<i>Automation in Construction</i>	194	Apresenta a arquitetura de um <i>software</i> para integração do BIM em um sistema de gestão das instalações baseado em GIS ( <i>Geographical Information System</i> – Sistema de Informação Geográfica)
Motamedi, Hammad e Asen (2014)	<i>Automation in Construction</i>	167	Apresenta uma abordagem de análise visual baseada em BIM para auxiliar na detecção de causas raiz de falha em operação de gestão das instalações
Isikdag, Zlatanova e Underwood (2013)	<i>Computers, Environment and Urban Systems</i>	166	Apresenta um modelo BIM para facilitar a navegação interna em edificações
Kassem <i>et al.</i> (2015)	<i>Built Environment Project and Asset Management</i>	163	Investiga a relevância do uso do BIM para gestão das instalações bem como os desafios que afetam a adoção do BIM para esta finalidade

As Figuras 3 e 4 apresentam duas perspectivas da rede de coocorrência de palavras-chave criada por meio do *VOSviewer*. Para um mínimo de 15 ocorrências, 117 palavras-chave alcançaram o limite e formaram seis agrupamentos (Figura 3). Da análise dos agrupamentos apresentados pelo *VOSviewer*, identifica-se que o *Cluster #1*, representado pela cor vermelha está relacionado a operação e manutenção, tomada de decisão e ciclo de vida. O agrupamento verde (*Cluster #2*) tem ligação com desempenho das instalações, eficiência energética e seu uso, inteligência artificial, automação e sustentabilidade. O agrupamento azul escuro (*Cluster #3*) tem ligação à gestão da informação, às diversas tecnologias emergentes como internet das coisas, sensores, GIS e à manipulação de dados. O agrupamento amarelo (*Cluster #4*) trata da teoria da informação, abordando o IFC, a interoperabilidade, semântica e ontologia. O agrupamento lilás (*Cluster #5*) aborda a gestão das instalações e os recursos relacionados (gestores, gestão dos recursos humanos etc.). Por fim, o agrupamento representado pela cor azul claro (*Cluster #6*) tem relação a indústria e processos construtivos.

A análise temporal dos dados da rede de coocorrência de palavras-chave elaborada através do *VOSviewer* é apresentada na Figura 4. Termos como “monitoramento estrutural”, “pontes”, “internet das coisas”,

“sustentabilidade”, “integração de dados”, “digital twin”, “falhas” e “preservação histórica” têm sido abordados nos últimos anos, sendo representados na Figura 4 pela cor amarela. Além disso, na Figura 4 é possível identificar a evolução e síntese das pesquisas que tratam do uso do BIM para fins de FM, levando a identificação de atuais tópicos de pesquisa, além de auxiliar na estruturação do conhecimento produzido dentro deste campo considerando a linha do tempo apresentada conforme a escala de cor apresentada na Figura 4, denotando quando estes temas surgiram e o volume de trabalhos abordando cada tema respectivamente conforme o tamanho do vértice, fornecendo uma ideia de quais temas são mais recentes e que temas já foram mais explorados na literatura.

Figura 3 - Rede de coocorrência de palavras-chave

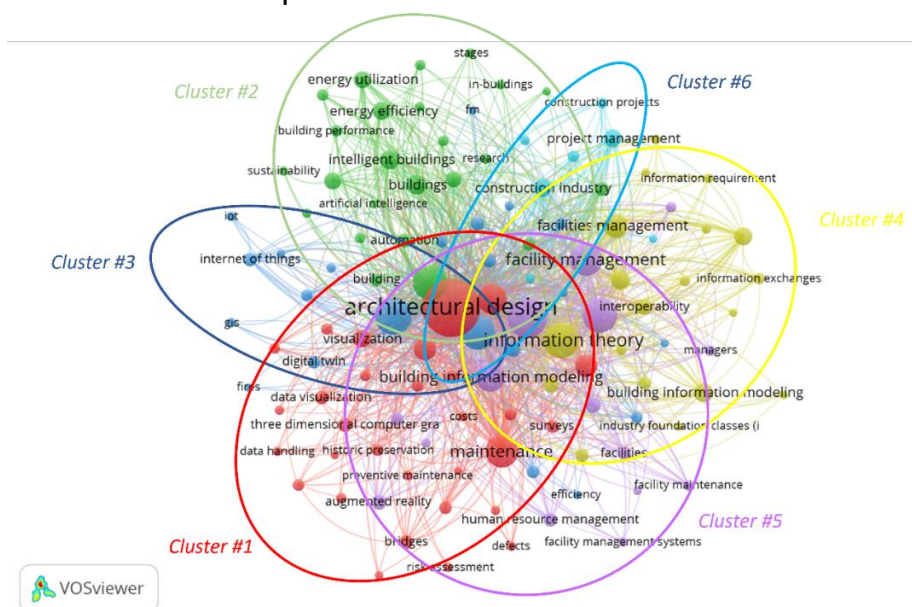
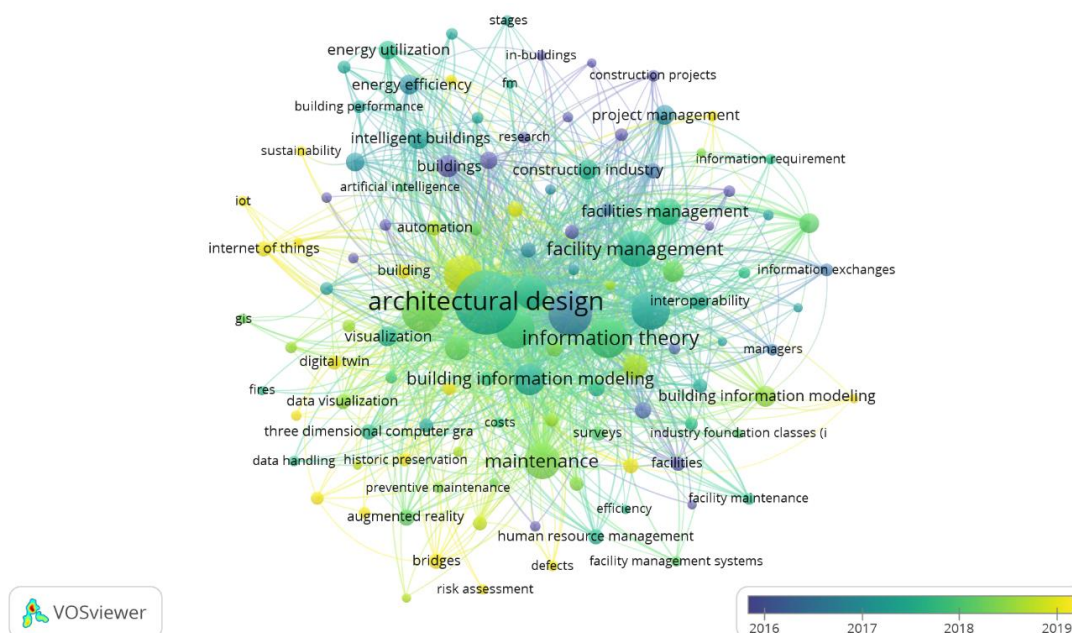


Figura 4 - Análise temporal da rede de coocorrência de palavras-chave





A Figura 5 apresenta a rede de coautoria onde é possível perceber a formação de onze diferentes agrupamentos considerando um mínimo de 04 documentos por autor. No agrupamento marrom, os autores têm trabalhado com temas relacionados à automatização, manutenção corretiva e detecção de falhas, com destaque para os autores Yang e Ergan que têm trabalhado mais fortemente no âmbito dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC). No agrupamento lilás, os artigos são direcionados ao âmbito dos negócios, onde Munir e Kiviniemi têm tratado das necessidades dos proprietários de ativos. No agrupamento azul claro, cabe ressaltar a colaboração de Lu, Parlikad e Xie nos trabalhos que objetivam a detecção de falhas. No agrupamento verde escuro, é possível notar a existência de trabalhos que tratam de infraestruturas como túneis, plantas de óleo e gás e pontes. Por fim, no agrupamento cinza os autores têm atuado em questões de desempenho energético e conforto do usuário.

Na rede de coautoria de países apresentada na Figura 6, foi considerado um mínimo de 05 documentos por país, onde 41 países atingem este limite. Verifica-se predominância, em número de publicações, de países como Estados Unidos (176 publicações), China (162 publicações), Reino Unido (114 publicações) e Itália (102 publicações). Se somados, apenas estes quatro países representam aproximadamente 46% das publicações dentro do grupo dos 41 países com maior número de pesquisas. Além disso, cabe destacar a forte colaboração entre países como Estados Unidos, China, Japão e Finlândia, representados pelo agrupamento na cor azul claro. O Brasil não aparece na rede, uma vez que dos 11 documentos encontrados na busca, apenas 3 trabalham em coautoria com outros países, não atendendo ao critério mínimo de 05 documentos.

## Análise sistemática da literatura

Para a análise sistemática da literatura científica, as pesquisas foram agrupadas, de acordo com os temas dos quais tratavam, identificados através da leitura de seus títulos e resumos, em 08 diferentes categorias com distribuição conforme apresentado na Figura 7.

### Usuários

Dentro das pesquisas voltadas aos usuários no campo da gestão, O&M de instalações, o foco é em auxiliar no processo de transferência de dados (Yalcinkaya; Singh, 2019), visualização de anomalias, sejam elas físicas (Tezel; Aziz, 2017) ou ambientais (Xie *et al.*, 2020). Foi verificado também na literatura que o entendimento do comportamento do usuário e o uso de informação contextual associada a evolução do ambiente da edificação é um tema ainda pouco explorado. Portanto, conjuntos de dados comportamentais podem ser coletados para melhorar o entendimento do ambiente dinâmico da edificação, conforme o *framework* proposto por Arslan, Cruz e Ginhac (2019).

Figura 5 - Rede de coautoria

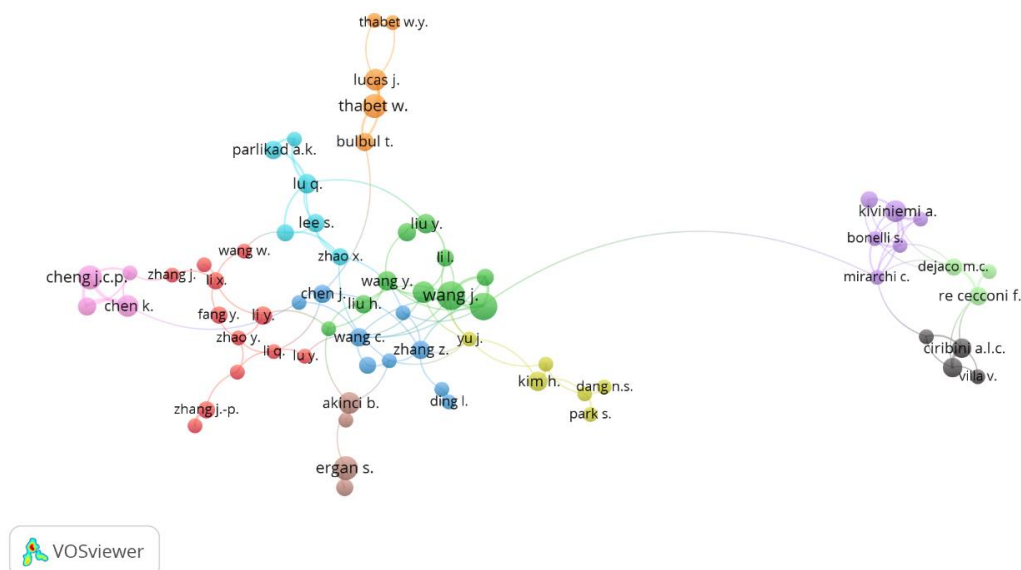


Figura 6 - Rede de coautoria de países

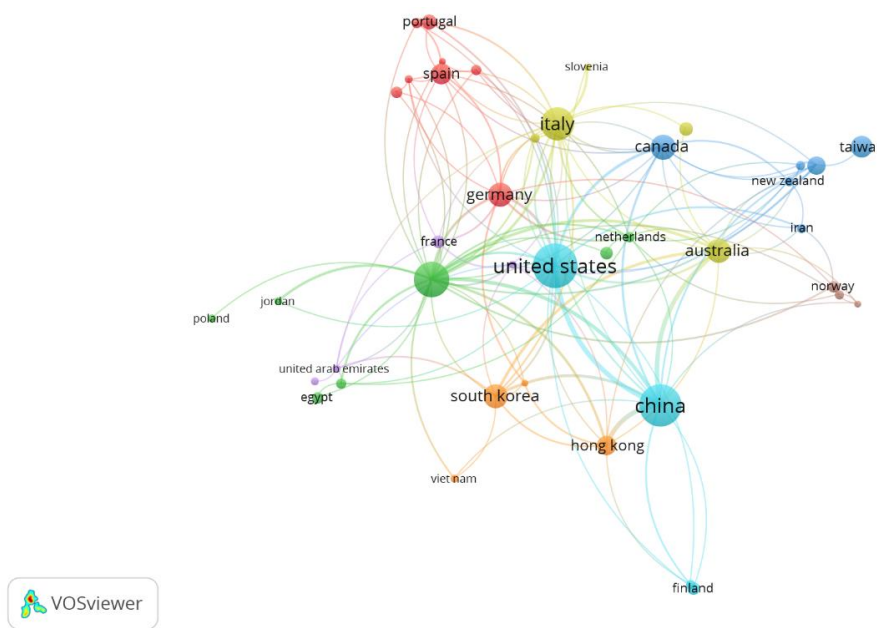
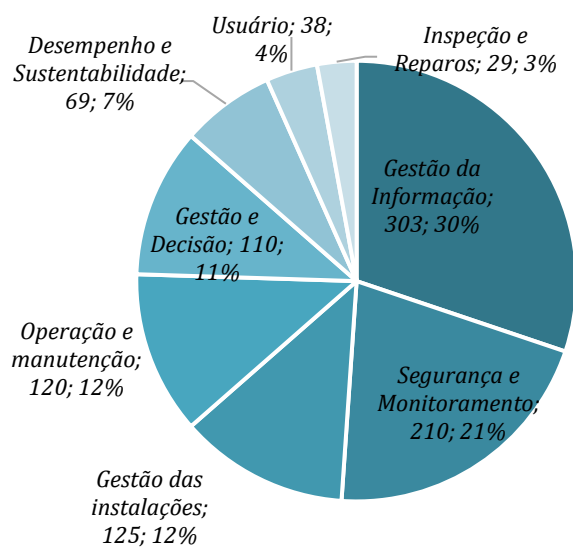


Figura 7 - Distribuição das pesquisas em categorias



Também foi verificado o uso de abordagens que levam em consideração o conforto dos usuários sobretudo no que diz respeito ao mapeamento e monitoramento em tempo real do conforto térmico usando BIM para visualização dos ambientes, seja associado à Inteligência Artificial (IA) (McGlenn *et al.*, 2017) ou a um modelo probabilístico de conforto (Alavi *et al.*, 2021). Observa-se também que as investigações abrangem diferentes tipologias de estruturas, desde edificações (McGlenn *et al.*, 2017; Ramsauer *et al.*, 2022; Thompson; Bank, 2010) até obras de infraestrutura (Marzouk; Abdelaty, 2014; Tezel; Aziz, 2017). Percebe-se que a avaliação do conforto é o ponto central dos trabalhos que se enquadram nesta categoria, onde o uso de sensores tem se mostrado promissor para que o monitoramento em tempo real das edificações seja realizado e o BIM representa uma forma de visualização para melhorar a análise causa e efeito e ajudar os FM a monitorarem os aspectos de conforto térmico e buscar prover uma melhor qualidade ao usuário final destas edificações. No entanto, ainda é necessário o desenvolvimento de pesquisas utilizando diferentes *softwares* BIM, refinamento dos modelos probabilísticos ampliando os fatores que afetam o conforto do usuário e mais envolvimento dos Gerentes de Instalações de modo a entender de forma mais ampla os fatores que afetam o conforto dos usuários.

## Gestão e decisão

No que tange às pesquisas voltadas para Gestão e Decisão, elas focam na identificação de causas de falha para manutenção através do uso de *visual analytics* (Motamedi; Hammad; Asen, 2014), aprendizagem de máquinas (McArthur; Bortoluzzi, 2018) e algoritmo genético (Kamal; Taghaddos; Metvaei, 2022). Uma outra vertente desta categoria são as pesquisas voltadas para inspeção usando BIM associado a GIS, que podem estar focadas em utilidades subterrâneas (Wang *et al.*, 2019), no gerenciamento de obras urbanas (Mignard; Nicolle, 2014; Moretti *et al.*, 2021) e no gerenciamento de obras do patrimônio histórico cultural (Jordan-Palomar *et al.*, 2018). Os artigos também focam em entender como deve ser feita a implementação ou origem das falhas nos processos de implementação de BIM-FM

Nas pesquisas que apresentam ferramentas para auxiliar nas atividades de gestão e tomada de decisão na FM, o uso de processos e abordagens Enxuta e Ágil e tecnologia GIS são campos com potencial para desenvolvimento de pesquisas. Além disso, cabe destacar a importância da coleta e uso de dados para auxiliar as manutenções, pois a criação de bancos de dados amplos referente a manutenibilidade de diferentes elementos e em diferentes tipologias de edificações poderiam ser utilizados empregando técnicas de aprendizagem de máquinas e IA para calibração e melhoria dos modelos preditivos. Podem ainda ser incluídos nas análises incertezas nos dados ou no processo decisório através de processos estocásticos ou operadores *fuzzy*. A fim de permitir a interação com objetos reais e virtuais é possível associar os sistemas à Realidade Aumentada (RA) ou Realidade Virtual (RV), sendo possível associar os ambientes e/ou objetos a sensores para atualização dinâmica dos equipamentos encontrados nestes ambientes.

## Inspeção e reparos

Em relação às análises sobre Inspeção e Reparo, as pesquisas focam em propostas de abordagem para buscar informações de causa de falhas para reparos em sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (HVAC) (Yang; Ergan, 2016), algoritmos para classificação de imagens usando QR codes para fins de automatização no processo de inspeção para reparos usando BIM para visualização (Pan; Chen, 2020; Zhan *et al.*, 2019). No campo das infraestruturas, apesar de Koch *et al.* (2014) ter pontuado que o BIM ainda não se mostra tão disponível para pontes e túneis e que, naquela época, o BIM ainda não era adequado para mapeamento de informações “as-built” e “as-damaged”, trabalhos recentes focaram em mapear o risco estrutural em pontes usando sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS) (Nettis; Saponaro; Nanna, 2020) e em desenvolver um *framework* para otimizar as práticas de gerenciamento de ativos de pontes associado ao BIM (Chan *et al.*, 2016). No que tange aos Veículos Aéreo Não Tripulados (VANT) associados ao BIM, foram desenvolvidos métodos para auxiliar na inspeção de infraestruturas de desvio de água (Liu *et al.*, 2019), estruturas de concreto armado usando processamento de imagens para visualização de manifestações patológicas (Ribeiro *et al.*, 2020) e automatização do diagnóstico de falhas em túneis baseado no IFC e Semantic Web Technologies (Hu *et al.*, 2019).

É possível identificar significativos avanços neste campo, ainda que lacunas do conhecimento permaneçam existentes, dado que o uso de modernas tecnologias é recorrentemente identificado nas pesquisas. Avanços ainda são necessários no sentido de fornecer de forma de visualizar as informações para auxiliar os profissionais responsáveis pelos reparos bem como priorizar as causas das falhas com base nas ordens de serviço. Através dos artigos publicados, fica clara a necessidade de automatizar esses processos de identificação de falhas, classificação das mesmas e preenchimento do banco de dados, o que pode ser alcançado através da associação a robôs e sensores, inclusive com uso de aprendizagem de máquina e IA para automatização deste processo. É necessário ainda, quando se trabalha com RPAS e VANTs otimizar as rotas. Além das questões tecnológicas, ainda é importante trabalhar na implementação do BIM para gerenciamento de ativos governança adequada, padronização e colaboração com a equipe de FM.

## Desempenho e sustentabilidade

Através da digitalização e do processamento de informação, o BIM se apresenta como uma ferramenta útil para tornar a indústria da construção mais sustentável (Petri *et al.*, 2017). Dada a emergente necessidade de respostas ao aumento do consumo energético e às mudanças climáticas é indiscutível a necessidade do desenvolvimento de pesquisas acerca da análise do consumo energético de diferentes tipos de edificações (Gong; Michel; Cantin, 2019; Lee; Cha; Park, 2016; Mytafides; Dimoudi; Zoras, 2017).

Nesta esfera do conhecimento, os artigos focam em auxiliar gestores em relação à gestão energética de edifícios, seja através da proposição de um toolkit integrado (Costa *et al.*, 2013) ou através do desenvolvimento

de sistemas de monitoramento, análise e otimização de consumo energético para armazenar, integrar e analisar conjuntos de dados complexos de múltiplas fontes de dados de dispositivos com e sem fio e ferramentas BIM (Gökçe; Gökçe, 2014). É importante pontuar que o comportamento do usuário é um fator crítico à otimização da eficiência energética das edificações, assim, foram propostos sistemas de visualização que permitam a visualização do consumo por parte do usuário (Francisco *et al.*, 2018) e integração do BIM com IoT para promover a redução do consumo energético (Pasini, 2018). No sentido de tornar as edificações mais sustentáveis, é possível usar redes neurais (Alshibani, 2020), desenvolver gêmeos digitais associados a *deep learning* (Wang *et al.*, 2022), algoritmo genético (Li *et al.*, 2022) para desenvolver um modelo preditivo de consumo.

Diante dos aspectos expostos, identifica-se que o estudo da otimização do consumo energético das edificações durante a operação é um campo de pesquisa em evolução e que ainda demanda o desenvolvimento de pesquisas no âmbito das diferentes tipologias de edificação, da identificação de diferentes parâmetros que influenciam o consumo energético, uso de tecnologias emergentes, tais como gêmeos digitais, *deep learning*, *data mining*, e investigação de parâmetros para garantir a acurácia dos modelos propostos. É importante observar que a grande maioria dos trabalhos que focam em questões de sustentabilidade trabalham a sustentabilidade na fase de operação e manutenção através do melhor uso de energia através de perfis de consumo, mas existem outras questões que precisam ser trabalhadas neste sentido, tais como reaproveitamento de água, redução na emissão de gases do efeito estufa associados ao processo de manutenção de edificações, entre outros fatores que podem ser vistos como sustentabilidade.

## Gestão da informação

Uma considerável quantidade de dados é produzida durante a operação e manutenção das edificações, os quais podem ser cruciais para auxiliar a gestão das instalações (Peng *et al.*, 2017). Neste sentido, o BIM se apresenta como uma ferramenta importante ao permitir o armazenamento de dados (Peng *et al.*, 2017). A disponibilidade e a qualidade dos dados são indispensáveis para o uso BIM em edificações pré-existentes (Braila; Panchenko; Kankhva, 2021), entretanto, há escassez de soluções apropriadas para integrar o BIM à gestão das instalações (Chen; Chen; Cheng, 2018), desta forma, a transferência de dados entre o modelo e os sistemas FM requerem aprofundamento, sendo este um dos maiores problemas do uso do BIM (Wetzel; Thabet; Jamerson, 2018).

Uma forma de auxiliar neste processo de transferência de dados é a *laser scanning* e a fotogrametria (Braila; Panchenko; Kankhva, 2021), mas existem diversos tipos de informação a serem gerenciados, como as de custos e segurança para situações de emergência que podem ser monitorados associando BIM com IoT (Atazadeh *et al.*, 2019). Um outro problema é que nos modelos, os parâmetros são majoritariamente tratados de forma estática, mas para favorecer o uso do BIM-FM, estes devem ser variáveis, sendo constantemente atualizados (Kuo; Lee; Hsieh, 2019). Um outro ponto que precisa ser desenvolvido é o uso do *feedback* do usuário em relação às condições das edificações durante o uso e operação para gestão das instalações integrada ao BIM (Ergen *et al.*, 2021). No que tange à localização de componentes de instalações e usuários, Wei e Akinci (2019) desenvolveram uma abordagem capaz de reconhecer e localização componentes das instalações por meio de imagens e associá-las com seus gêmeos digitais em um repositório de informações.

Assim, pode-se concluir que a coleta de dados para fins de uso e operação das instalações é um campo de pesquisa que requer atenção, sobretudo no que diz respeito à sua associação com tecnologias emergentes e a possibilidade de uma constante atualização dos dados coletados, levando em consideração não só fatores construtivos, mas também a percepção dos usuários.

## Segurança e monitoramento

O uso do BIM para o monitoramento das instalações e garantia da segurança dos usuários é outro campo em desenvolvimento. As pesquisas tendem a ser mais focadas no uso do BIM para visualização 3D no auxílio ao gerenciamento de informações de incêndio (Jung; Cha; Jiang, 2020), gerenciamento de segurança durante a operação e manutenção de projetos de desvio de água usando BIM, GIS e tecnologias móveis (Liu; Zhang; Wang, 2021), garantia de segurança. Uma outra vertente é o monitoramento de equipamentos instalados à distância, como os dutos de ventilação e telhados usando RA (Chen *et al.*, 2019), sistema de modelagem para identificar o nível e o perfil de ocupação das instalações de modo a permitir as equipes de FM de responderem rapidamente a mudanças no perfil de ocupação de modo a auxiliar em situações de renovação, construção e operação (Yoo; Kim; Shin, 2020) e até monitoramento de usuários para evitar transmissão de vírus em situações pandêmicas, como no caso da COVID-19 (Pavón; Alvarez; Alberti, 2020).

É possível apontar que, no âmbito da operação e manutenção das instalações, muitas pesquisas abordam a segurança e monitoramento das instalações, trazendo aplicações para diferentes áreas da indústria da construção (infraestruturas, edificações etc.). No entanto, a análise de informações e criação de regras ainda apresentam lacunas, podendo ser melhoradas através do uso de sistemas baseados em nuvem, sensores, uso de *Big Data* e interação direta com o usuário. Nos trabalhos voltados à localização de componentes e usuários, observa-se que a precisão dos resultados ainda demanda atenção bem como a coleta e uso de dados em tempo real. O uso do BIM para garantia da segurança dos usuários, sobretudo em relação à ocorrência de incêndios ou no caso de obras de renovação também é uma área em foco e que requer a integração com diferentes tecnologias para otimizar os resultados obtidos.

## Gestão das instalações

O BIM para a Gestão das instalações é uma área de estudo importante e relativamente nova e em crescimento (Matos *et al.*, 2021; Patacas; Dawood; Kassem, 2020). Dado que as atuais práticas de gestão das instalações exigem o uso de diferentes ferramentas, o BIM pode permitir a integração com diferentes fontes de informação (El Ammari; Hammad, 2019). O uso do modelo tridimensional como o centro da gestão associado a outras aplicações, bases de dados e ferramentas de gestão das instalações pode tornar a edificação inteligente (Pavón *et al.*, 2021). Porém, o desenvolvimento de sistemas de integração entre o BIM e a gestão das instalações é um campo em desenvolvimento e a elaboração de estudos de casos demonstrando a implementação destes sistemas é escassa, sendo necessário ainda estudar os impactos gerenciais destes sistemas e realizar suas análises custo-benefício (Kula; Ergen, 2021). A escassez de estudos de caso é uma questão verificada neste estudo, pois dos 125 artigos da categoria de Gestão das Instalações, apenas 32 tratam de estudos de caso, mas este é um ponto que não se restringe a esta categoria, pois dos 1004 artigos, apenas 206 tratavam de algum estudo de caso, mostrando que existem muitos estudos teóricos, mas que é necessário haver uma avaliação prática e aplicada das metodologias propostas para que elas sejam amplamente utilizadas pela sociedade.

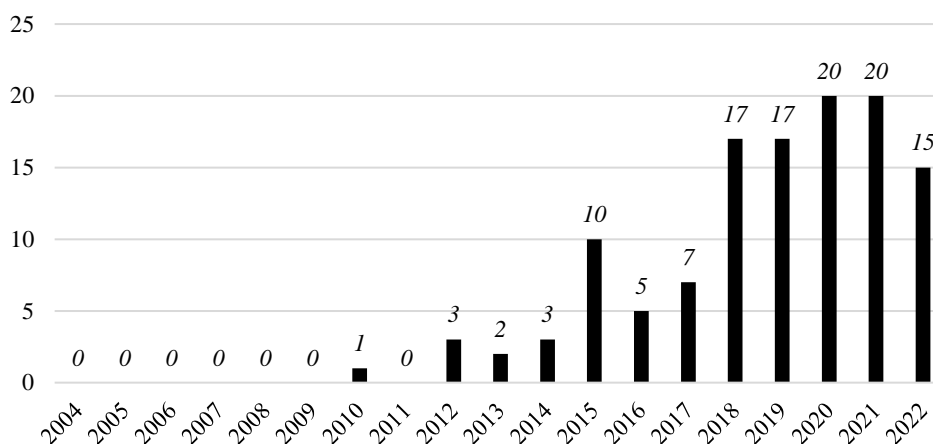
A categoria de Gestão das Instalações tem artigos que focam na avaliação do desempenho da edificação e a priorização das atividades de manutenção com auxílio do BIM e indicadores-chave de desempenho (Matos *et al.*, 2021), uso de RM para melhorar as atividades de campo de manutenção (El Ammari; Hammad, 2019), um *framework* e um protótipo de um *Common Data Environment* associado ao BIM para melhorar o fluxo de trabalho de gestão das instalações abordando a especificação, verificação e uso de informações (Patacas; Dawood; Kassem, 2020).

Diante do exposto, é possível perceber que o uso do BIM para gestão das instalações é um campo que tem recebido atenção nos últimos. Porém, ainda demanda desenvolvimento no sentido do estabelecimento de abordagens para integração que sejam válidas para aplicações reais, tanto do ponto de vista técnico como financeiro, e que estejam associadas às tecnologias emergentes. Além disso, precisa de mais aprofundamento na interoperabilidade entre os sistemas de gestão das instalações e o BIM. Por fim, cabe destacar ainda a necessidade da ampliação do uso do BIM para gestão das instalações no campo das infraestruturas.

## Operação e manutenção

O BIM tem potencialidade para tornar a operação e a manutenção das edificações mais eficientes (Guo; Hu, 2020), sendo um dos campos que mais demandam desenvolvimento em relação à integração com o BIM (Kamal; Taghaddos; Karimi, 2021), porém há uma lacuna do conhecimento sobre a estruturação de modelos BIM que permitam o uso eficiente nas fases de operação e manutenção (Heaton; Parlikad; Schooling, 2019). Os estudos na área de edificações incluem um sistema informatizado que integra os objetos BIM em IFC e identificação por radiofrequência para fins de otimização do desempenho da manutenção (Kameli *et al.*, 2021), *framework* visando a extração de dados gerados por sistemas computadorizados de gestão de manutenção que sofrem mineração de texto, análise de performance e visualização em BIM dessas informações (Nojedehi; O'Brien; Gunay, 2021). Outros focam no uso de IoT para manutenção preditiva dos sistemas MEP da edificação (Cheng *et al.*, 2020) e para manutenção de equipamentos em parques industriais (Ma *et al.*, 2020). No caso de infraestruturas, os estudos focam em sistemas direcionados para manutenção de pontes (Byun *et al.*, 2021), pavimento em estradas (Oreto *et al.*, 2021), túneis (Yin *et al.*, 2020), infraestruturas portuárias (Valdepeñas *et al.*, 2020) e aeroportuárias (Keskin; Salman, 2020).

Figura 8 - Distribuição temporal das publicações da categoria de Operação e Manutenção



Considerando a quantidade de artigos que tratam diretamente dos usos BIM para operação e manutenção de instalações, é possível perceber que esta é ainda uma área em desenvolvimento na literatura científica, tendo recebido mais atenção a partir de 2018, como pode ser visualizado na Figura 8. O uso do BIM para as etapas de manutenção e operação sofre pela ausência de funcionalidades que gerem semanticamente as informações associadas à O&M dos modelos (Stojanovic *et al.*, 2019). Um dos maiores entraves ao uso do BIM para a operação das edificações reside na necessidade da compatibilidade entre o modelo BIM para o qual a edificação foi projetada e a real condição da edificação no momento da operação (Chalhoub; Ayer; McCord, 2021). Existem diversas formas de abordar essas questões, como uso de robótica, sensores, RA ou RV para comparar o ambiente construído com o projetado. Além disso, os sistemas também precisam incorporar características de Sistemas de Apoio a Decisão para assistir os FM nas decisões relativas a risco da operação, tamanho das equipes a serem mobilizadas, necessidade de evacuação de espaços para manutenibilidade do mesmo e incorporação da percepção de especialistas nesses dados, além das informações de sensores.

## Contribuição

O desenvolvimento das análises cientométrica e crítica permitiu responder às questões da pesquisa que foram definidas na subseção Definição das questões relevantes para a pesquisa deste artigo. A Tabela 4 apresenta as principais lacunas identificadas em cada uma das dimensões estudadas. Em relação à Questão 01, que buscava entender se o campo “BIM para gestão, operação e manutenção das instalações” está em crescimento, foi possível verificar a partir da análise dos dados exibidos na Figura 2 que de fato as pesquisas sobre o tema têm aumentado nos últimos anos, sobretudo a partir de 2017, onde o número de pesquisas publicadas foi aproximadamente igual ao somatório dos dois anos anteriores.

No que se refere às Questões 02 e 03, foi possível entender, a partir da análise das Figuras 3 e 4 e do item 4, que as finalidades de aplicação do BIM para gestão, operação e manutenção têm sido ampliadas, dado que questões relacionadas ao conforto e monitoramento do usuário, à coleta, integração e transferência de dados, à manutenibilidade, à associação com tecnologias emergentes, às infraestruturas, às edificações históricas e à sustentabilidade são alguns temas que têm apresentado desdobramentos e permitido à ampliação das fronteiras do conhecimento. Neste âmbito, especificamente do que diz respeito às tecnologias que têm sido utilizadas para fins de gestão, operação e manutenção das instalações, conforme questão levantada na Questão 04, é possível citar o recente uso dos gêmeos digitais, do GIS, das RV e RA, dos *QR codes*, de RPAs e VANTs, da aprendizagem de máquina, da mineração de dados, da IoT, do *laser scanning*, dos dados em nuvem e *Big Data* como tecnologias que recorrentemente têm sido associadas ao BIM para ultrapassar lacunas relacionadas à gestão, operação e manutenção de instalações, uma vez que são tecnologias habilitadoras. Neste sentido, têm-se destaque para os termos “GIS”, “IoT”, “*Digital Twin*” e “Realidade Aumentada” citados, respectivamente, por 91, 74, 55 e 51 artigos.

Tabela 4 - Lacunas identificadas em cada um dimensões BIM-FM

Dimensões BIM-FM	Lacunas
Usuários	Existem lacunas no que tange a estudos de conforto de usuários utilizando diferentes softwares BIM, refinamento dos modelos probabilísticos ampliando os fatores que afetam o conforto do usuário e mais envolvimento dos Gerentes de Instalações de modo a entender de forma mais ampla os fatores que afetam o conforto dos usuários.
Gestão e Decisão	Existem lacunas no que tange ao uso de processos e abordagens Enxuta e Ágil e tecnologia GIS que são campos com potencial para o desenvolvimento de pesquisas em Gestão de Instalações. Cabe destacar a importância da coleta e uso de dados para auxiliar as manutenções, pois a criação de bancos de dados amplos referente a manutenibilidade de diferentes elementos em diferentes tipologias de edificações poderiam ser utilizados para calibração e melhoria dos modelos preditivos associado a aprendizagem de máquinas e IA. Podem ainda ser incluídos nas análises incertezas nos dados ou no processo decisório através de processos estocásticos ou operadores <i>fuzzy</i> . A fim de permitir a interação com objetos reais e virtuais é possível associar os sistemas à RA/RV, sendo possível associar os ambientes e/ou objetos a sensores para atualização dinâmica dos equipamentos encontrados nestes ambientes.
Inspeção e Reparos	Existem lacunas no que tange à visualização das informações para auxiliar os profissionais responsáveis pelos reparos bem como priorizar as causas das falhas com base nas ordens de serviço. Através dos artigos publicados, fica clara a necessidade de automatizar esses processos de identificação de falhas, classificação das mesmas e preenchimento do banco de dados, o que pode ser alcançado através da associação a robôs e sensores, associados a aprendizagem de máquina e IA para automatização deste processo. É necessário ainda, quando se trabalha com RPAS e VANTs otimizar as rotas. Além das questões tecnológicas, ainda é importante trabalhar na implementação do BIM para gerenciamento de ativos governança adequada, padronização e colaboração com a equipe de FM.
Desempenho e Sustentabilidade	Identifica-se que o estudo da otimização do consumo energético das edificações durante a operação é um campo de pesquisa em evolução e que ainda demanda o desenvolvimento de pesquisas no âmbito das diferentes tipologias de edificação, da identificação de diferentes parâmetros que influenciam o consumo energético, uso de tecnologias emergentes, tais como gêmeos digitais, <i>deep learning</i> , <i>data mining</i> , e investigação de parâmetros para garantir a acurácia dos modelos propostos. É importante observar que a grande maioria dos trabalhos que focam em questões de sustentabilidade trabalham a sustentabilidade na fase de operação e manutenção através do melhor uso de energia por perfis de consumo, mas existem outras questões que precisam ser trabalhadas neste sentido, tais como reaproveitamento de água, redução na emissão de gases do efeito estufa associados ao processo de manutenção de edificações, entre outros fatores que podem ser vistos como sustentabilidade.
Gestão da Informação	Assim como nas categorias de “Inspeção e Reparos” e “Desempenho e Sustentabilidade” pode-se concluir que a coleta de dados para fins de uso e operação das instalações é um campo de pesquisa que requer atenção, sobretudo no que diz respeito à sua associação com tecnologias emergentes e a possibilidade de uma constante atualização dos dados coletados, levando em consideração não só fatores construtivos, mas também a percepção dos usuários. Assim, o desenvolvimento de metodologias que auxiliem na automatização da transferência dos dados mantendo a integridade e qualidade deles para a fase de manutenção e operação é um ponto que precisa receber mais atenção, levando em consideração que estes dados precisam ser atualizados de forma dinâmica, seja através de <i>feedback</i> de usuários, sensores, análise de imagens ou análise de nuvem de pontos.
Segurança e Monitoramento	Existe uma lacuna no que tange a análise de informações e criação de regras ainda apresentam lacunas, podendo ser melhoradas através do uso de sistemas baseados em nuvem, sensores, uso de <i>Big Data</i> e interação direta com o usuário. Nos trabalhos voltados à localização de componentes e usuários, observa-se que a precisão dos resultados ainda demanda atenção bem como a coleta e uso de dados em tempo real. O uso do BIM para garantia da segurança dos usuários, sobretudo em relação à ocorrência de incêndios ou no caso de obras de renovação também é uma área em foco e que requer a integração com diferentes tecnologias para otimizar os resultados obtidos.
Gestão das Instalações	Esta categoria ainda demanda desenvolvimento no sentido do estabelecimento de abordagens para integração que sejam válidas para aplicações reais, tanto do ponto de vista técnico como financeiro, e que estejam associadas às tecnologias emergentes. Além disso, precisa de mais aprofundamento na interoperabilidade entre os sistemas de gestão das instalações e o BIM. Por fim, cabe destacar ainda a necessidade da ampliação do uso do BIM para gestão das instalações no campo das infraestruturas.
Operação e Manutenção	Existem lacunas no que tange a gerar semanticamente as informações associadas à O&M dos modelos, compatibilização entre o modelo e a real condição da edificação no momento da operação, podendo ser abordado através do uso de robótica, sensores, RA ou RV para comparar o ambiente construído ao projetado. Os sistemas também devem incorporar características de Sistemas de Apoio a Decisão para assistir os Gerentes de Instalações nas decisões relativas a risco da operação, tamanho das equipes a serem mobilizadas, necessidade de evacuação de espaços para manutenibilidade e incorporação de dados de sensores e da percepção de especialistas.

Por fim, em resposta à Questão 05, através da análise cientométrica e sistemática da literatura foi possível identificar que são possíveis tendências de pesquisa a serem desenvolvidas dentro do campo avaliado neste trabalho:

- (a) o uso de sensores para o monitoramento em tempo real de estruturas (Byun *et al.*, 2021; Cheng *et al.*, 2020; Kameli *et al.*, 2021; Singh; Sadhu, 2020; Valinejadshoubi *et al.*, 2021);

- (b) o uso das abordagens Enxuta e Ágil e tecnologia GIS associado ao BIM para fins de gestão, operação e manutenção (McArthur; Bortoluzzi, 2018);
- (c) a análise da manutenibilidade de estruturas associada ao BIM ainda na fase de projeto (Akanmu; Olayiwola; Olatunji, 2020; Matos *et al.*, 2021);
- (d) o uso de sensores, robôs e veículos remotamente pilotados para fins de inspeção e reparo (Liu *et al.*, 2019; Zhan *et al.*, 2019);
- (e) a ampliação do entendimento e previsão do consumo energético (Alshibani, 2020; Francisco *et al.*, 2018; Petri *et al.*, 2017);
- (f) a coleta e transferência contínua de dados produzido durante a operação e manutenção (Braila; Panchenko; Kankhva, 2021; Chen; Chen; Cheng, 2018; Nettis; Saponaro; Nanna, 2020; Patacas; Dawood; Kassem, 2020; Wetzel; Thabet; Jamerson, 2018);
- (g) o uso do BIM para gerenciamento da segurança durante a operação e manutenção, especialmente nos casos de situação de incêndio (Jung; Cha; Jiang, 2020);
- (h) o estabelecimento de padrões de integração entre o BIM e os sistemas de gestão das instalações (Byun *et al.*, 2021; Hu *et al.*, 2019; Kaewunruen *et al.*, 2021); e
- (i) o uso do BIM para O&M de infraestruturas (Kaewunruen *et al.*, 2021; Keskin; Salman, 2020; Liu; Gao, 2017; Valdepeñas *et al.*, 2020; Yin *et al.*, 2020; Zhu *et al.*, 2021).

## Conclusões

Este artigo trata revisão sistemática da literatura e análise cientométrica, com análise da evolução e síntese das pesquisas que tratam do uso do BIM para fins de FM publicadas em todo o período de indexação da base de dados Scopus, levando à identificação de atuais tópicos de pesquisa, além de auxiliar na estruturação do conhecimento produzido dentro deste campo. Para tal, um total de 4050 artigos recuperados da base de dados Scopus foram analisados. Destes, 1004 artigos foram selecionados para auxiliar no desenvolvimento de um entendimento mais profundo acerca dos desafios e oportunidades bem como das direções de pesquisas futuras dentro do campo de pesquisa. Para tal, empregou-se um método misto de revisão da literatura que foi conduzido visando responder questões de pesquisa previamente determinadas.

A análise cientométrica permitiu identificar as redes de palavras-chaves e coautoria de autores e países, o que permitiu identificar tendências de pesquisas como também os padrões de pesquisa que estão sendo desenvolvidos em colaboração por diferentes autores e países. Da análise cientométrica, através da análise da rede de coocorrência de palavras-chave, foi possível identificar que termos como “monitoramento estrutural”, “pontes”, “internet das coisas”, “sustentabilidade”, “integração de dados”, “*digital twin*”, “falhas” e “preservação histórica” têm sido abordados nos últimos anos. Além disso, foi possível ainda verificar a predominância, em número de publicações, de países como Estados Unidos, China, Reino Unido e Itália.

Para a análise sistemática da literatura, as pesquisas foram agrupadas em 08 diferentes categorias: usuários; gestão e decisão; inspeção e reparos; desempenho e sustentabilidade; gestão da informação; segurança e monitoramento; gestão das instalações, e; operação e manutenção. Esta análise de categorias permitiu entender as dificuldades e oportunidades de pesquisa dentro do campo em estudo com maior especificidade. Entretanto, não foi realizada uma hierarquização entre os temas, de forma que fossem aninhados ou classificados no que tange à relação de dependência. As conclusões deste trabalho possuem uma forte dependência em relação à amostra, tendo em vista a metodologia de uma revisão sistemática. À medida que a literatura na área evolui, a taxonomia tende a se consolidar.

Foi possível identificar que o campo “BIM para gestão, operação e manutenção das instalações” está em crescimento não só devido ao aumento no número de publicações acerca do tema, mas também pela ampliação das finalidades de aplicação do BIM para gestão, operação e manutenção sobretudo com o auxílio do uso de diferentes tecnologias.

As tendências em pesquisa identificadas neste trabalho foram apresentadas na seção Análise sistemática da literatura por dimensões de BIM-FM e na seção Contribuição conforme análise cientométrica e bibliométrica. Desta forma, verificou-se que existem diversas oportunidades para pesquisas futuras examinando os seguintes temas: uso de sensores para o monitoramento em tempo real de estruturas; uso das abordagens Enxuta e Ágil e de tecnologia GIS associado ao BIM para fins de gestão, operação e manutenção; análise da manutenibilidade de estruturas associada ao BIM ainda na fase de projeto; uso de sensores, robôs e veículos



remotamente pilotados para fins de inspeção e reparo; ampliação do entendimento e previsão do consumo energético; coleta e transferência contínua de dados produzido durante a operação e manutenção; uso do BIM para gerenciamento da segurança durante a operação e manutenção, especialmente nos casos de situação de incêndio; estabelecimento de padrões de integração entre o BIM e os sistemas de gestão das instalações, e; uso do BIM para O&M de infraestruturas. Além disso, a integração com aplicações de Inteligência Artificial para reconhecimento por imagens e diagnóstico podem alavancar as aplicações e ferramentas BIM-FM em aplicações para modelagem de uma política de manutenção preventiva ou preditiva, bem como na análise de uma política de inspeção que considere a otimização da frequência de inspeções a fim de identificar determinados estágios de degradação antes de uma falha funcional, como apresentado por (De Souza; Almeida Filho, 2020) usando o conceito de *Delay Time Modeling* para infraestrutura aeroportuária.

Através deste trabalho foi possível verificar as lacunas identificadas por outras RSLs (Abideen *et al.*, 2022; Edirisinghe *et al.*, 2017; Gao; Pishdad-Bozorgi, 2019; Hilal; Maqsood; Abdekhodae, 2019; Wang; Ali; Au-Yong, 2022), e observar que várias destas lacunas, tais como problemas de interoperabilidade entre sistemas, entendimento dos princípios de O&M e questões sobre retorno sob investimento, foram confirmadas ainda e que alguns pontos de direcionamento para pesquisas futuras foram abordados, especialmente no que tange a visualização 3D para criação de bancos de dados voltados a O&M, uso e ocupação dos espaços, gerenciamento de segurança e gerenciamento energético.

Por fim, acredita-se que a presente pesquisa ajuda a ampliar as aplicações BIM para gestão, operação e manutenção das instalações e, conseqüentemente, aumentar as taxas de adoção desta tecnologia nas fases finais do ciclo de vida dos empreendimentos.

## Referências

- ABIDEEN, D. K. *et al.* A systematic review of the extent to which BIM is integrated into operation and maintenance. **Sustainability**, v. 14, n. 14, 2022.
- AKANMU, A. A.; OLAYIWOLA, J.; OLATUNJI, O. A. Automated checking of building component accessibility for maintenance. **Automation in Construction**, v. 114, p. 103196, jun. 2020.
- ALAVI, H. *et al.* Enhancing occupants' comfort through BIM-based probabilistic approach. **Automation in Construction**, v. 123, n. 1, p. 103528, mar. 2021.
- ALSHIBANI, A. Prediction of the energy consumption of school buildings. **Applied Sciences**, v. 10, n. 17, 2020.
- ARAÚJO, A. G.; PEREIRA CARNEIRO, A. M.; PALHA, R. P. Sustainable construction management: a systematic review of the literature with meta-analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 256, n. 1, p. 120350, 2020.
- ARSLAN, M.; CRUZ, C.; GINHAC, D. Understanding occupant behaviors in dynamic environments using OBIDE framework. **Building and Environment**, v. 166, p. 106412, dez. 2019.
- ASARE, K. A. B.; LIU, R.; ANUMBA, C. J. Building information modeling to support facilities management of large capital projects: a critical review. **Facilities**, v. 40, n. 3/4, p. 176–197, jan. 2022.
- ATAZADEH, B. *et al.* Utilizing a Building Information Modelling environment to communicate the legal ownership of internet of things-generated data in multi-owned buildings. **Electronics**, v. 8, n. 11, p. 1258, nov. 2019.
- BECERIK-GERBER, B. *et al.* Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 138, n. 3, p. 431–442, mar. 2012.
- BOOTH, A. *et al.* **Systematic approaches to a successful literature review**. 3<sup>rd</sup> ed. London: Sage, 2022.
- BRAILA, N.; PANCHENKO, N.; KANKHVA, V. Building Information Modeling for existing sustainable buildings. **E3S Web of Conferences**, v. 244, p. 1–11, 2021.
- BYUN, N. *et al.* Development of bim-based bridge maintenance system considering maintenance data schema and information system. **Sustainability**, v. 13, n. 9, 2021.
- CHALHOUB, J.; AYER, S. K.; MCCORD, K. H. Augmented reality to enable users to identify deviations for model reconciliation. **Buildings**, v. 11, n. 2, p. 1–19, 2021.

- CHAN, B. *et al.* Defining a conceptual framework for the integration of modelling and advanced imaging for improving the reliability and efficiency of bridge assessments. **Journal of Civil Structural Health Monitoring**, v. 6, n. 4, p. 703–714, 2016.
- CHEN, K. *et al.* A BIM-based location aware AR collaborative framework for facility maintenance management. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 24, p. 360–380, jul. 2019.
- CHEN, W.; CHEN, K.; CHENG, J. C. P. Towards an ontology-based approach for information interoperability between BIM and facility management. In: SMITH, I.; DOMER, B. (ed.). **Advanced computing strategies for engineering. EG-ICE 2018. Lecture Notes in Computer Science**. Cham: Springer, 2018.
- CHENG, J. C. P. *et al.* Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms. **Automation in Construction**, v. 112, p. 103087, jan. 2020.
- COSTA, A. *et al.* Building operation and energy performance: monitoring, analysis and optimisation toolkit. **Applied Energy**, v. 101, p. 310–316, 2013.
- COUPRY, C. *et al.* BIM-Based digital twin and XR devices to improve maintenance procedures in smart buildings: a literature review. **Applied Sciences**, v. 11, n. 15, 2021.
- DE SOUZA, N. M.; ALMEIDA FILHO, A. T. de. A systematic airport runway maintenance and inspection policy based on a delay time modeling approach. **Automation in Construction**, v. 110, p. 103039, dec. 2020.
- DIXIT, M. K. *et al.* Integration of facility management and building information modeling (BIM): a review of key issues and challenges. **Facilities**, v. 37, n. 7–8, p. 455–483, 2019.
- DURDYEV, S. *et al.* Barriers to the implementation of Building Information Modelling (BIM) for facility management. **Journal of Building Engineering**, v. 46, n. 1, p. 103736, abr. 2022.
- EDIRISINGHE, R. *et al.* Building information modelling for facility management: are we there yet? **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 24, n. 6, p. 1119–1154, 2017.
- EL AMMARI, K.; HAMMAD, A. Remote interactive collaboration in facilities management using BIM-based mixed reality. **Automation in Construction**, v. 107, nov. 2019.
- ERGEN, E. *et al.* Formalization of occupant feedback and integration with BIM in office buildings. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 35, n. 1, p. 1–19, 2021.
- FRANCISCO, A. *et al.* Occupant perceptions of building information model-based energy visualizations in eco-feedback systems. **Applied Energy**, v. 221, p. 220–228, jul. 2018.
- GAO, X.; PISHDAD-BOZORGI, P. BIM-enabled facilities operation and maintenance: a review. **Advanced Engineering Informatics**, v. 39, p. 227–247, jan. 2019.
- GÖKÇE, H. U.; GÖKÇE, K. U. Multi dimensional energy monitoring, analysis and optimization system for energy efficient building operations. **Sustainable Cities and Society**, v. 10, p. 161–173, fev. 2014.
- GONG, X.; MICHEL, P.; CANTIN, R. Multiple-criteria decision analysis of BIM influences in building energy management. **Building Simulation**, v. 12, n. 4, p. 641–652, 2019.
- GREENE, J. C.; CARACELLI, V. J.; GRAHAM, W. F. Toward a conceptual framework for mixed-method evaluation designs. **Educational Evaluation and Policy Analysis**, v. 11, n. 3, p. 255–274, set. 1989.
- GUO, X.; HU, H. Strategy of BIM building operation and maintenance management based on LV-EG model. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2020, Article ID 4130564, 2020.
- HEATON, J.; PARLIKAD, A. K.; SCHOOLING, J. Design and development of BIM models to support operations and maintenance. **Computers in Industry**, v. 111, p. 172–186, 2019.
- HILAL, M.; MAQSOOD, T.; ABDEKHODAEI, A. A scientometric analysis of BIM studies in facilities management. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, v. 37, n. 2, p. 122–139, abr. 2019.
- HU, M. *et al.* Automated structural defects diagnosis in underground transportation tunnels using semantic technologies. **Automation in Construction**, v. 107, n. July, p. 102929, 2019.

- HUSSEIN, M.; ZAYED, T. Crane operations and planning in modular integrated construction: Mixed review of literature. **Automation in Construction**, v. 122, n. Sep. 2020, p. 103466, 2021.
- ISIKDAG, U.; ZLATANOVA, S.; UNDERWOOD, J. A BIM-oriented model for supporting indoor navigation requirements. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 41, p. 112–123, 2013.
- JOHNSON, R. B.; ONWUEGBUZIE, A. J. Mixed methods research: a research paradigm whose time has come. **Educational Researcher**, v. 33, n. 7, p. 14–26, 2004.
- JORDAN-PALOMAR, I. *et al.* Protocol to manage heritage-building interventions using heritage Building Information Modelling (HBIM). **Sustainability**, v. 10, n. 4, p. 908, mar. 2018.
- JUNG, S.; CHA, H. S.; JIANG, S. Developing a building fire information management system based on 3D object visualization. **Applied Sciences**, v. 10, n. 3, 2020.
- KAEWUNRUEN, S. *et al.* Digital twin aided vulnerability assessment and risk-based maintenance planning of bridge infrastructures exposed to extreme conditions. **Sustainability**, v. 13, n. 4, p. 1–19, 2021.
- KAMAL, Z.; TAGHADDOS, H.; KARIMI, H. BIM-based maintenance management system for healthcare facilities. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 35, n. 4, p. 1–18, 2021.
- KAMAL, Z.; TAGHADDOS, H.; METVAEI, S. BIM-based repair and maintenance for hospital work order management. **Automation in Construction**, v. 143, n. 1, p. 104546, nov. 2022.
- KAMELI, M. *et al.* Improving maintenance performance by developing an IFC BIM/RFID-based computer system. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 12, n. 2, p. 3055–3074, 2021.
- KANG, T. W.; HONG, C. H. A study on software architecture for effective BIM/GIS-based facility management data integration. **Automation in Construction**, v. 54, p. 25–38, 2015.
- KASSEM, M. *et al.* BIM in facilities management applications: a case study of a large university complex. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 5, n. 3, p. 261–277, 2015.
- KESKIN, B.; SALMAN, B. Building information modeling implementation framework for smart airport life cycle management. **Transportation Research Record**, v. 2674, n. 6, p. 98–112, 2020.
- KOCH, C. *et al.* Achievements and challenges in machine vision-based inspection of large concrete structures. **Advances in Structural Engineering**, v. 17, n. 3, p. 303–318, 2014.
- KONG, L. *et al.* Embedding knowledge into BIM: a case study of extending BIM with firefighting plans. **Journal of Building Engineering**, v. 49, n. 1, p. 103999, may 2022.
- KULA, B.; ERGEN, E. Implementation of a BIM-FM platform at an international airport project: case study. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, n. 4, p. 1–14, 2021.
- KUO, W.-L.; LEE, H.-X.; HSIEH, S.-H. Designing a database schema for supporting visual management of variable parameters in BIM models. In: COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING 2019: VISUALIZATION, INFORMATION MODELING, AND SIMULATION, Atlanta, Georgia, 2019. **Proceedings [...]** Atlanta, Georgia: ASCE, 2019.
- LEE, D.; CHA, G.; PARK, S. A study on data visualization of embedded sensors for building energy monitoring using BIM. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, v. 17, n. 6, p. 807–814, 2016.
- LI, X. *et al.* An integrated building energy performance evaluation method: from parametric modeling to GA-NN based energy consumption prediction modeling. **Journal of Building Engineering**, v. 45, 1 jan. 2022.
- LIU, D. *et al.* Dynamic BIM-augmented UAV safety inspection for water diversion project. **Computers in Industry**, v. 108, p. 163–177, 2019.
- LIU, Q.; GAO, T. The information requirements for transportation industry's facilities management based on BIM. **The Open Construction and Building Technology Journal**, v. 11, n. 1, p. 136–141, 2017.
- LIU, T.; ZHANG, S.; WANG, C. A BIM-based safety management framework for operation and maintenance in water diversion projects. **Water Resources Management**, v. 35, n. 5, p. 1619–1635, 2021.
- LUO, N.; PRITONI, M.; HONG, T. An overview of data tools for representing and managing building information and performance data. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 147, n. April, p. 111224, 2021.

- MA, Z. *et al.* Data-driven decision-making for equipment maintenance. **Automation in Construction**, v. 112, n. January, p. 103103, 2020.
- MANNINO, A.; DEJACO, M. C.; RE CECCONI, F. Building information modelling and internet of things integration for facility management: literature review and future needs. **Applied Sciences**, v. 11, n. 7, p. 3062, mar. 2021.
- MARTINEZ, P.; AL-HUSSEIN, M.; AHMAD, R. A scientometric analysis and critical review of computer vision applications for construction. **Automation in Construction**, v. 107, n. July, 2019.
- MARZOUK, M.; ABDELATY, A. Monitoring thermal comfort in subways using building information modeling. **Energy and Buildings**, v. 84, p. 252–257, 2014.
- MATARNEH, S. *et al.* BIM-based facilities information: streamlining the information exchange process. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 17, n. 6, p. 1304–1322, 2019.
- MATOS, R. *et al.* Building condition assessment supported by Building Information Modelling. **Journal of Building Engineering**, v. 38, n. September 2020, 2021.
- MCARTHUR, J. J.; BORTOLUZZI, B. Lean-agile FM-BIM: a demonstrated approach. **Facilities**, v. 36, n. 13/14, p. 676–695, 2018.
- MCGLINN, K. *et al.* Usability evaluation of a web-based tool for supporting holistic building energy management. **Automation in Construction**, v. 84, p. 154–165, dez. 2017.
- MIGNARD, C.; NICOLLE, C. Merging BIM and GIS using ontologies application to Uuban facility management in ACTIVE3D. **Computers in Industry**, v. 65, n. 9, p. 1276–1290, 2014.
- MOHER, D. *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **BMJ**, v. 339, n. 7716, p. 332–336, 2009.
- MORETTI, N. *et al.* GeoBIM for built environment condition assessment supporting asset management decision making. **Automation in Construction**, v. 130, p. 103859, out. 2021.
- MOTAMEDI, A.; HAMMAD, A.; ASEN, Y. Knowledge-assisted BIM-based visual analytics for failure root cause detection in facilities management. **Automation in Construction**, v. 43, p. 73–83, 2014.
- MOTAWA, I.; ALMARSHAD, A. A knowledge-based BIM system for building maintenance. **Automation in Construction**, v. 29, p. 173–182, 2013.
- MYTAFIDES, C. K.; DIMOUDI, A.; ZORAS, S. Transformation of a university building into a zero energy building in Mediterranean climate. **Energy and Buildings**, v. 155, n. 2017, p. 98–114, 2017.
- NETTIS, A.; SAPONARO, M.; NANNA, M. RPAS-based framework for simplified seismic risk assessment of Italian RC-bridges. **Buildings**, v. 10, n. 9, 2020.
- NOJEDEHI, P.; O'BRIEN, W.; GUNAY, H. B. Benchmarking and visualization of building portfolios by applying text analytics to maintenance work order logs. **Science and Technology for the Built Environment**, v. 27, n. 6, p. 756–775, 2021.
- ORETO, C. *et al.* Road pavement information modeling through maintenance scenario evaluation. **Journal of Advanced Transportation**, v. 2021, article ID 8823117, 2021.
- PAN, N. H.; CHEN, K. Y. Facility maintenance traceability information coding in BIM-based facility repair platform. **Advances in Civil Engineering**, v. 2020, article ID 3426563, 2020.
- PÄRN, E. A.; EDWARDS, D. J.; SING, M. C. P. The building information modelling trajectory in facilities management: a review. **Automation in Construction**, v. 75, p. 45–55, 2017.
- PASINI, D. Connecting BIM and IoT for addressing user awareness toward energy savings. **Journal of Structural Integrity and Maintenance**, v. 3, n. 4, p. 243–253, 2018.
- PATACAS, J.; DAWOOD, N.; KASSEM, M. BIM for facilities management: a framework and a common data environment using open standards. **Automation in Construction**, v. 120, p. 103366, jul. 2020.
- PAVÓN, R. M. *et al.* Use of bim-fm to transform large conventional public buildings into efficient and smart sustainable buildings. **Energies**, v. 14, n. 11, p. 1–22, 2021.
- PAVÓN, R. M.; ALVAREZ, A. A. A.; ALBERTI, M. G. Possibilities of bim-fm for the management of covid in public buildings. **Sustainability**, v. 12, n. 23, p. 1–21, 2020.

- PENG, Y. *et al.* A hybrid data mining approach on BIM-based building operation and maintenance. **Building and Environment**, v. 126, p. 483–495, sep. 2017.
- PETRI, I. *et al.* Optimizing energy efficiency in operating built environment assets through building information modeling: A case study. **Energies**, v. 10, n. 8, p. 1–17, 2017.
- PINTI, L.; CODINHOTO, R.; BONELLI, S. A Review of Building Information Modelling (BIM) for Facility Management (FM): implementation in public organisations. **Applied Sciences**, v. 12, n. 3, 2022.
- RAMSAUER, D. *et al.* Human perception and building automation systems. **Energies**, v. 15, n. 5, p. 1–23, 2022.
- RIBEIRO, D. *et al.* Remote inspection of RC structures using unmanned aerial vehicles and heuristic image processing. **Engineering Failure Analysis**, v. 117, p. 104813, jul. 2020.
- SINGH, P.; SADHU, A. System identification-enhanced visualization tool for infrastructure monitoring and maintenance. **Frontiers in Built Environment**, v. 6, May 2020.
- STOJANOVIC, V. *et al.* Service-oriented semantic enrichment of indoor point clouds using octree-based multiview classification. **Graphical Models**, v. 105, Apr. 2019.
- 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.
- TERRENO, S.; ASADI, S.; ANUMBA, C. An exploration of synergies between lean concepts and BIM in FM: a review and directions for future research. **Buildings**, v. 9, n. 6, 2019.
- TEZEL, A.; AZIZ, Z. Visual management in highways construction and maintenance in England. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 24, n. 3, p. 486–513, 2017.
- THOMPSON, B. P.; BANK, L. C. Use of system dynamics as a decision-making tool in building design and operation. **Building and Environment**, v. 45, n. 4, p. 1006–1015, abr. 2010.
- VALDEPEÑAS, P. *et al.* Application of the BIM method in the management of the maintenance in port infrastructures. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 8, n. 12, p. 1–22, 2020.
- VALINEJADSHOUBI, M. *et al.* Development of an IoT and BIM-based automated alert system for thermal comfort monitoring in buildings. **Sustainable Cities and Society**, v. 66, n. October 2019, p. 102602, 2021.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.
- VANLANDE, R.; NICOLLE, C.; CRUZ, C. IFC and building lifecycle management. **Automation in Construction**, v. 18, n. 1, p. 70–78, 2008.
- 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.
- WANG, M. *et al.* An integrated underground utility management and decision support based on BIM and GIS. **Automation in Construction**, v. 107, p. 102931, jul. 2019.
- WANG, T.; ALI, A. S.; AU-YONG, C. P. Exploring a body of knowledge for promoting the building information model for facility management. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 13, n. 4, p. 101717, 2022.
- WANG, W. *et al.* Deep learning for assessment of environmental satisfaction using BIM big data in energy efficient building digital twins. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 50, 1 mar. 2022.
- WEI, Y.; AKINCI, B. A vision and learning-based indoor localization and semantic mapping framework for facility operations and management. **Automation in Construction**, v. 107, p. 102915, jan. 2019.
- WETZEL, E. M.; THABET, W. Y.; JAMERSON, W. E. A case study towards transferring relevant safety information for facilities maintenance using BIM. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 23, n. June 2016, p. 53–74, 2018.
- WU, J.; LEPECH, M. D. Incorporating multi-physics deterioration analysis in building information modeling for life-cycle management of durability performance. **Automation in Construction**, v. 110, n. November 2019, p. 103004, 2020.

- XIE, X. *et al.* Visualised inspection system for monitoring environmental anomalies during daily operation and maintenance. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 27, n. 8, p. 1835–1852, 8 jul. 2020.
- YALCINKAYA, M.; SINGH, V. VisualCOBie for facilities management. **Facilities**, v. 37, n. 7/8, p. 502–524, 7 maio 2019.
- YANG, X.; ERGAN, S. Leveraging BIM to provide automated support for efficient troubleshooting of HVAC-related problems. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 30, n. 2, p. 1–13, 2016.
- YIN, X. *et al.* A BIM-based framework for operation and maintenance of utility tunnels. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 97, p. 103252, jan. 2020.
- YOO, W.; KIM, H.; SHIN, M. Stations-oriented indoor localization (SOIL): a BIM-based occupancy schedule modeling system. **Building and Environment**, v. 168, n. November 2019, p. 106520, 2020.
- ZHAN, J. *et al.* Improvement of the inspection-repair process with building information modelling and image classification. **Facilities**, v. 37, n. 7–8, p. 395–414, 2019.
- ZHU, J.; TAN, Y.; WANG, X.; WU, P. BIM/GIS integration for web GIS-based bridge management. **Annals of GIS**, v. 27, n. 1, p. 99–109, 2021.
- ZOU, P. X. W.; SUNINDIJO, R. Y.; DAINITY, A. R. J. A mixed methods research design for bridging the gap between research and practice in construction safety. **Safety Science**, v. 70, p. 316–326, 2014.

## Agradecimentos

Os autores são gratos a suporte parcial recebido das seguintes agências: Facepe (APQ-1178-3.01/21), CNPQ (315245/2020-4), e CAPES (001).

### Gabriela Alves Tenório de Moraes

Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Metodologia, Redação do manuscrito original.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Universidade Federal de Pernambuco | Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária | Recife - PE - Brasil | CEP 50670-901 | Tel.: (81) 2126-8219 | E-mail: gabriela.alvesm@ufpe.br

### Adiel Teixeira de Almeida Filho

Conceitualização, Análise de dados, Metodologia, Supervisão, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Centro de Informática | Universidade Federal de Pernambuco | Tel.: (81) 2126-8430 | E-mail: adielfilho@cin.ufpe.br

### Rachel Perez Palha

Conceitualização, Análise de dados, Metodologia, Supervisão, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental | Universidade Federal de Pernambuco | Tel.: (81) 2126-8219 | E-mail: rachelpalha@gmail.com

Editora do artigo: Edna Possan

### **Ambiente Construído**

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.