REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

CONVERGÊNCIA ENTRE BIM, INTERNET DAS COISAS, INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E GÊMEOS DIGITAIS NA GESTÃO DE FACILITIES: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

CONVERGENCE OF BIM, INTERNET OF THINGS, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AND DIGITAL TWINS IN FACILITIES MANAGEMENT: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

CONVERGENCIA ENTRE BIM, INTERNET DE LAS COSAS, INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y GEMELOS DIGITALES EN LA GESTIÓN DE INSTALACIONES: UN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

Flávia Maia Aguiar
Mestranda em Governança, Tecnologia e Inovação, Universidade Católica de Brasília, Brasil
E-mail: flavia.maia@a.ucb.br

Eduardo Amadeu Dutra Moresi
Doutor em Ciência da Informação, Universidade Católica de Brasília, Brasil
E-mail: moresi@p.ucb.br

Resumo

A transformação digital da gestão de Facilities (FM) vem ampliando a integração entre Building Information Modeling (BIM), Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e Gêmeos Digitais na operação e manutenção de edificações. Este estudo objetiva mapear a evolução e a estrutura temática da literatura científica que articula essas tecnologias, identificando padrões de convergência, aplicações e lacunas de pesquisa. Realizou-se uma revisão bibliométrica descritiva com dados da Scopus, empregando análise de coocorrência de palavras-chave e mapas temáticos. O corpus compreendeu 1.941 documentos, com aprofundamento em um subconjunto de 542 publicações associado ao cluster BIM. Os resultados evidenciam crescente articulação entre modelagem da informação, sensoriamento conectado, recursos analíticos baseados em IA e representações digitais dinâmicas, especialmente em manutenção preditiva, monitoramento, diagnóstico de falhas, eficiência energética e gestão de ativos. Persistem lacunas relacionadas à governança de dados, competências profissionais, integração aos processos decisórios e modelos contratuais orientados por desempenho. Conclui-se que a evolução da transformação digital em FM depende da integração entre tecnologias, dados, pessoas, processos e mecanismos de governança, ressalvando-se que os resultados representam um domínio bibliográfico deliberadamente BIM-orientado.

Palavras-chave: Building Information Modeling (BIM); Gestão de Facilities; Inteligência Artificial; Gêmeos Digitais; Manutenção Preditiva.

Abstract

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

Digital transformation in Facilities Management (FM) is expanding the integration of Building Information Modeling (BIM), the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), and Digital Twins in building operation and maintenance. This study aims to map the evolution and thematic structure of the scientific literature connecting these technologies, identifying convergence patterns, applications, and research gaps. A descriptive bibliometric review was conducted using Scopus data, keyword co-occurrence analysis, and thematic mapping. The corpus comprised 1,941 documents, with an in-depth analysis of a subset of 542 publications associated with the BIM cluster. The findings reveal increasing integration between information modeling, connected sensing, AI-based analytics, and dynamic digital representations, particularly in predictive maintenance, monitoring, fault diagnosis, energy efficiency, and asset management. Research gaps remain regarding data governance, professional competencies, integration into decision-making processes, and performance-based contractual models. The study concludes that the advancement of digital transformation in FM depends on integrating technologies, data, people, processes, and governance mechanisms. However, the findings should be interpreted within the deliberately BIM-oriented bibliographic domain defined by the search strategy.

Keywords: Building Information Modeling (BIM); Facilities Management; Artificial Intelligence; Digital Twins; Predictive Maintenance.

Resumen

La transformación digital de la gestión de instalaciones (Facilities Management — FM) está ampliando la integración entre Building Information Modeling (BIM), Internet de las Cosas (IoT), Inteligencia Artificial (IA) y Gemelos Digitales en la operación y el mantenimiento de edificios. Este estudio tiene como objetivo mapear la evolución y la estructura temática de la literatura científica que articula estas tecnologías, identificando patrones de convergencia, aplicaciones y brechas de investigación. Se realizó una revisión bibliométrica descriptiva con datos de Scopus, mediante análisis de coocurrencia de palabras clave y mapas temáticos. El corpus comprendió 1.941 documentos, con un análisis detallado de un subconjunto de 542 publicaciones asociado al clúster BIM. Los resultados muestran una creciente articulación entre modelado de información, sensores conectados, análisis basado en IA y representaciones digitales dinámicas, especialmente en mantenimiento predictivo, monitoreo, diagnóstico de fallas, eficiencia energética y gestión de activos. Persisten brechas relacionadas con la gobernanza de datos, las competencias profesionales, los procesos de toma de decisiones y los modelos contractuales basados en desempeño. Se concluye que la transformación digital en FM depende de integrar tecnologías, datos, personas, procesos y mecanismos de gobernanza, considerando que los resultados corresponden a un dominio bibliográfico deliberadamente orientado al BIM.

Palabras clave: Building Information Modeling (BIM); Gestión de Instalaciones; Inteligencia Artificial; Gemelos Digitales; Mantenimiento Predictivo.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

1. Introdução

A gestão de facilities (FM) atravessa uma transformação impulsionada pela digitalização do ambiente construído. Antes concentrada em práticas reativas e preventivas de manutenção, a área avança para um modelo proativo, estratégico e orientado por dados. Esse movimento responde à crescente complexidade das edificações, à necessidade de reduzir custos, melhorar o desempenho operacional e atender a requisitos de sustentabilidade. Nesse contexto, Building Information Modeling (BIM), Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e Gêmeos Digitais constituem o principal ecossistema tecnológico de suporte à modernização da gestão predial.

O BIM funciona como repositório central de informações geométricas e semânticas dos ativos, estruturando dados ao longo do ciclo de vida da edificação (VOLK; STENGEL; SCHULTMANN, 2014; PÄRN; EDWARDS; SING, 2017). A IoT amplia essa infraestrutura ao coletar continuamente dados sobre condições operacionais e desempenho dos sistemas prediais (CHENG et al., 2020; CHATSUWAN; ICHINOSE; ALKHALAF, 2025). Os Gêmeos Digitais integram essas tecnologias em réplicas virtuais dinâmicas, capazes de reproduzir o comportamento dos ativos físicos, apoiar simulações e orientar intervenções mais precisas (ABDELALIM et al., 2025; PAN et al., 2022). A IA, por sua vez, processa dados históricos e em tempo real para prever falhas, otimizar operações e apoiar decisões de manutenção (QUINELLO, 2025; SCHÖNFELDER; KÖNIG, 2022).

Apesar dos avanços, a produção científica permanece fragmentada e predominantemente orientada a questões técnicas. Volk et al. (2014) destacaram as dificuldades de implementação do BIM em edifícios existentes, especialmente na captura das condições “as-is” e na conversão de dados de laser scanning em modelos semânticos. Ismail et al. (2025) observaram que os estudos sobre BIM aplicado à FM enfatizam a tecnologia, enquanto aspectos relacionados a processos, pessoas e requisitos de informação para manutenção permanecem insuficientemente explorados.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

No campo dos Gêmeos Digitais, Shen et al. (2019) e Tang et al. (2019) propuseram frameworks destinados à operação e manutenção. Shen et al. (2019) apresentaram uma arquitetura composta pelas camadas física, de rede, de dados e de aplicação, enquanto Tang et al. (2019) demonstraram a viabilidade do monitoramento, da detecção de falhas e do controle remoto de sistemas elétricos. Sivasankari et al. (2025) reforçaram que a gestão integrada depende de protocolos padronizados e de soluções adequadas de segurança e privacidade.

A IA e o Machine Learning têm sido aplicados principalmente à predição, otimização e classificação. Deng et al. (2021) identificaram aplicações relacionadas à previsão do consumo energético e ao diagnóstico de falhas. Zhou (2025) desenvolveram modelos para prever cargas de resfriamento em sistemas HVAC, enquanto D'Orazio, Bernardini e Di Giuseppe (2023) utilizaram Processamento de Linguagem Natural para classificar ordens de serviço. Sobhkhiz e El-Diraby (2025) propuseram um framework baseado em ontologias para integrar sensores ao BIM, e Parn et al. (2017) apresentam uma revisão dos desenvolvimentos e oportunidades para a integração BIM-FM discutem os desafios como interoperabilidade, melhoria de desempenho e treinamento.

Esses estudos demonstram a viabilidade técnica da digitalização da manutenção predial. Entretanto, permanece uma lacuna relacionada à incorporação dessas capacidades nos processos gerenciais, nos fluxos decisórios e nos modelos de negócio de FM. Pouco se conhece sobre como gestores não especializados em dados devem interpretar previsões algorítmicas, quais interfaces favorecem decisões rápidas e como estabelecer confiança em sistemas automatizados.

Outra lacuna se refere aos Contratos Baseados em Performance, nos quais a remuneração depende de resultados, como disponibilidade de equipamentos, eficiência energética e satisfação dos ocupantes. Embora Digital Twins, IA e blockchain ofereçam condições para monitorar indicadores, definir Service Level Agreements e automatizar pagamentos, ainda são escassos os estudos sobre estruturação, gestão e auditoria desses contratos.

Diante disso, o artigo propõe uma revisão bibliométrica da produção científica

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

que relaciona BIM, IoT, IA e Gêmeos Digitais à manutenção predial no âmbito da gestão de facilities. O objetivo é mapear a evolução e a estrutura temática da literatura científica que integra BIM a IoT, Inteligência Artificial e Gêmeos Digitais no contexto da manutenção predial e da gestão de Facilities, identificando padrões de convergência tecnológica, aplicações predominantes e lacunas relacionadas à incorporação dessas soluções aos processos de gestão. A investigação será orientada pela seguinte questão: como IoT, Inteligência Artificial e Gêmeos Digitais têm se integrado ao BIM na literatura científica sobre manutenção predial e Facilities Management, e quais padrões temáticos caracterizam essa convergência tecnológica?

2. Metodologia

O tipo de pesquisa é uma revisão bibliométrica, de caráter descritivo. A metodologia deste trabalho está organizada preliminarmente na coleta de dados para análise e possível refinamento da pesquisa.

Os dados foram coletados da base Scopus. Por possuir metadados bem estruturados e que cobrem as áreas de engenharia, ciência da computação e gestão, foi possível a extração para as análises quantitativas. Foi feita análise de coocorrência de palavras-chave. Este método analisa a frequência com que as palavras-chave aparecem juntas nos artigos, permitindo a criação de mapas temáticos, revelando os principais clusters de pesquisa.

O processo da pesquisa se deu com a inclusão escalonada de mais de um termo ou palavras-chave, começando com a expressão de busca ("facilit* management" OR "facilit* services" OR Facilities), obtendo 1.031.303 documentos. A partir daí, para fins de alcance de resultados mais pertinentes ao objetivo da pesquisa, incluiu-se o termo (BIM OR "building information modeling" OR "building information modelling"), reduzindo a amostra para 5861 resultados. Em continuidade ao refinamento, inseriu os termos ("artificial intelligence" OR "generative AI" OR "Machine Learning" OR "deep learning" OR "data analytics" OR "Internet of Things" OR IOT OR "Digital Twin*" OR genAI OR chatGPT), limitando o corpus em 2957 documentos. Na última etapa do refinamento, inseriu-se a

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

expressão (performance OR monitoring OR outsourcing OR maintenance OR "existing building*" OR "building maintenance") o que gerou 2643 resultados. E, por fim, como uma última etapa de restrição do corpus amostral, forma incluídos os filtros referentes a publicações de conferências, artigos, revisões na língua inglesa, atingindo-se o corpus desejado para fins de análise bibliométrica com 2063 resultados. A consulta foi realizada no dia 31 de agosto de 2026, limitando o resultado até o ano de 2025.

A Figura 1 ilustra a evolução das publicações sobre o tema, abrangendo o período de 2005 a 2025. O ápice ocorreu em 2025, com 447 publicações, evidenciando o fortalecimento do interesse acadêmico e profissional na área. Esses números reforçam o caráter emergente e dinâmico da discussão, impulsionada pelas transformações tecnológicas recentes.

A estratégia de busca foi construída deliberadamente segundo uma perspectiva BIM-orientada. Assim, a inclusão dos termos BIM, “building information modeling” e “building information modelling” constitui um critério de delimitação do domínio bibliográfico investigado, e não uma variável cuja predominância em relação às demais tecnologias se pretende testar. Consequentemente, as medidas de centralidade, coocorrência e estrutura temática obtidas devem ser interpretadas no interior desse domínio. O desenho da pesquisa permite analisar como IoT, Inteligência Artificial, Gêmeos Digitais e outras tecnologias se articulam ao BIM na literatura de Facilities Management, mas não permite comparar a centralidade do BIM com essas tecnologias no universo geral da transformação digital em FM.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

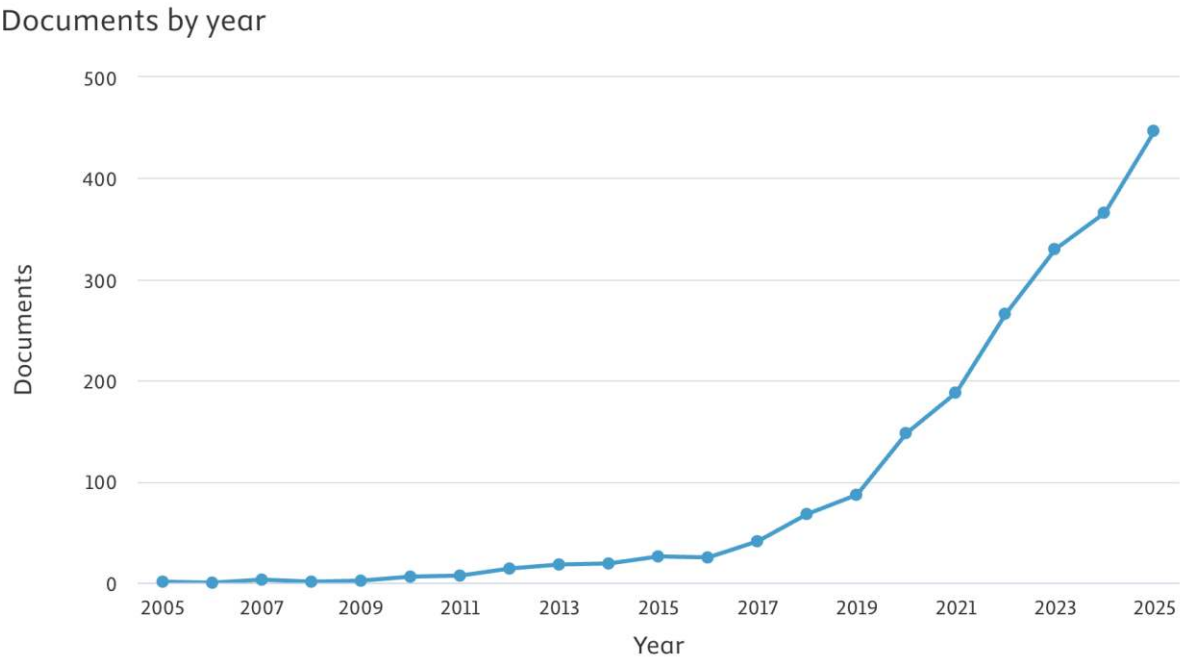


Figura 1 - Evolução do tema 2005 - 2026

3. Indicadores do Corpus

A Tabela 1 apresenta os principais indicadores do corpus. O conjunto de dados, que abrange um período de 2005 a 2025, é composta por 2063 documentos publicados em 691 fontes distintas. Este número substancial de documentos e a diversidade das fontes de publicação indicam um domínio de pesquisa amplo e bem estabelecido. O campo de estudo demonstra uma atividade robusta, com uma taxa de crescimento anual de 35,68%, sugerindo uma expansão contínua e um interesse sustentado ao longo dos anos. A idade média relativamente jovem dos documentos (3,93 anos) ressalta ainda mais a natureza contemporânea e o dinamismo desta área de pesquisa.

Uma característica central desta coleção é a sua natureza altamente colaborativa. Com 5278 autores contribuindo para 2063 documentos, o número médio de coautores por documento é de 3,78. Este dado é ainda mais reforçado pelo fato de que apenas 103 documentos (cerca de 4,5% do total) são de autoria única, envolvendo somente 94 autores individuais. Esta forte inclinação para o trabalho em equipe se estende internacionalmente, com mais de um quarto (26,22%) das publicações envolvendo coautorias internacionais, o que destaca

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

uma comunidade de pesquisa globalmente conectada. A distribuição dos tipos de documentos - com artigos dominantes (1222), seguidos por artigos de conferência (648) e um número significativo de revisões (193) - reflete um campo maduro que equilibra a pesquisa fundamental, a rápida disseminação de novas descobertas e a síntese periódica do conhecimento.

Tabela 1 - Principais Indicadores

Descrição	Resultados
PRINCIPAIS INFORMAÇÕES OSBRE O CORPUS	
Período	2005:2025
Fontes (Periódicos, Anais, Conferências etc.)	691
Documentos	2063
Taxa de Crescimento Anual %	35,68
Idade média do documento	3,93
Média de citações por documento	27,48
Referências	101947
CONTEÚDO DOS DOCUMENTOS	
Palavras-Chave Plus (ID)	9223
Palavras-chave dos Autores (DE)	5120
AUTORES	
Autores	5278
Autores de documentos com um único autor	94
COLABORAÇÃO DE AUTORES	
Documentos com um único autor	103
Coautores por documento	3,78
Coautorias internacionais %	26,22
TIPOS DE DOCUMENTOS	
Artigos	1222
Artigos de Conferência	648
Artigos de Revisão	193

Fonte: Bibliometrix - versão 5.0

A coleção mostra um impacto considerável, evidenciado por uma média de 27,48 citações por documento. Esta alta taxa de citação sugere que a pesquisa contida nesta coleção é frequentemente referenciada e reconhecida por outros estudiosos, indicando sua relevância e influência no cenário acadêmico. O rico repositório de palavras-chave (9223 Keywords Plus e 5120 Keywords de Autor) fornece, ainda, um recurso valioso para análises temáticas aprofundadas, refletindo os tópicos multifacetados abordados e auxiliando na compreensão da

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

estrutura intelectual do campo. O conjunto de documentos descreve uma área de pesquisa muito produtiva, dinâmica e colaborativa, com um impacto significativo na literatura acadêmica, impulsionada por uma comunidade globalmente conectada.

4. Análise da estrutura conceitual

Segundo Callon, Courtial e Laville (1991), o mapa temático pode ser definido como uma visualização que organiza temas (clusters) de acordo com seu grau de desenvolvimento e sua posição relativa dentro da rede, permitindo identificar núcleos centrais, temas emergentes ou marginais. Esse tipo de representação gráfica busca “mapear a morfologia da rede” e classificar os temas em quadrantes analíticos, oferecendo uma leitura estruturada das dinâmicas de pesquisa.

O mapa do corpus analisado foi gerado com 5120 palavras-chave dos autores. Sua distribuição espacial no gráfico, tendo o Louvain como algoritmo de detecção de comunidades, conforme apresentado na Figura 2.

A análise bibliométrica revela um mapa estratégico composto por 15 clusters temáticos, distribuídos em quatro quadrantes, que refletem seu grau de relevância (centralidade) e desenvolvimento (densidade) no campo de estudo.

No quadrante superior direito, identificamos os Temas Motores, que são áreas de pesquisa maduras, coesas e de alta relevância para o domínio. Destacam-se aqui o BIM, com artigos recentes de Jafary et al. (2025) e Congiu et al. (2024) enfatizando sua continuidade e impacto na gestão da informação e design arquitetônico. Conectado a este, o cluster de “sustainability, energy efficiency e smart building" demonstra o foco em construções inteligentes e ecoeficientes, evidenciado por Hosamo et al. (2023) e Chatsuwan et al. (2025). A "3D modeling, point cloud and laser" é outro tema motor, com trabalhos como Matos et al. (2024), mostrando a importância das tecnologias de captura e representação digital. A "Artificial Intelligence, Machine Learning and Learning Systems" sublinha o papel transformador da IA, como visto em Sanzana et al. (2022) e Matos et al. (2023). Por fim, "Facilities Management, Building e Maintenance Management" representa uma área fundamental e contínua de gestão de edificações, com Ahmad e Alshurideh (2024) e Mesároš et al. (2023) como exemplos. O cluster "Costs, Deep Learning e Risks" complementa, indicando a aplicação de IA para otimização financeira e mitigação de riscos.

No quadrante superior esquerdo, temos os Temas de Nicho, que são bem desenvolvidos, mas menos centrais. O cluster "pesquisa industrial, otimização

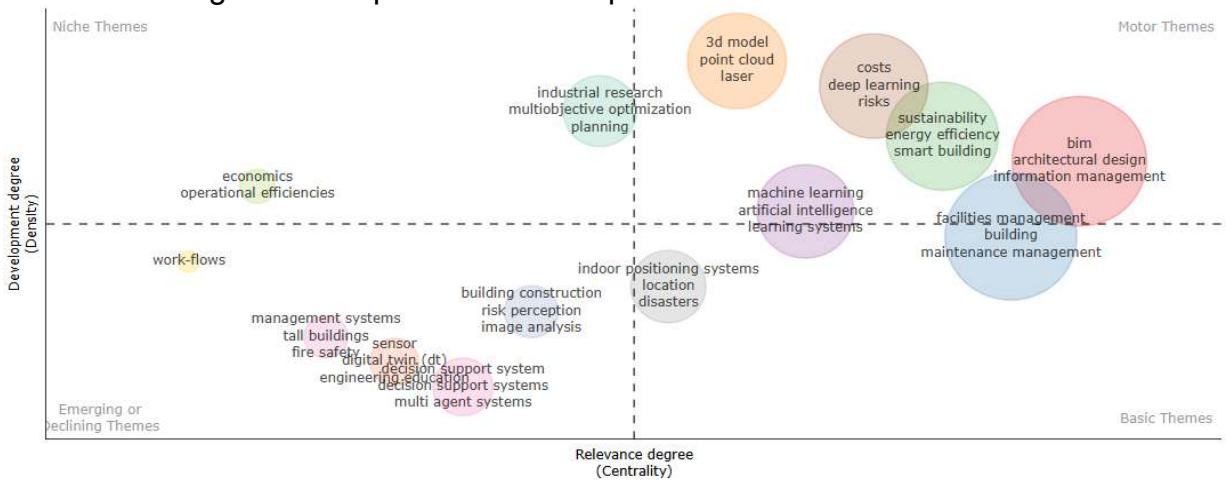
CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

multiobjetivo e planejamento" se encaixa aqui, com publicações como Blampain et al (2023) e Zhuang (2021) revelando uma área especializada, mas robusta, focada em aplicações industriais e otimização de processos.

Figura 2 - Mapa temático das palavras-chaves dos autores



Fonte: Bibliometrix - versão 5.0.

Os Temas Básicos, no quadrante inferior direito, são relevantes, mas ainda pouco desenvolvidos internamente. Incluem "indoor positioning systems, location and disasters", essencial para diversas aplicações, mas com artigos como Ensafi et al (2022) e Chen et al (2018) sugerindo uma difusão no desenvolvimento. Similarmente, "civil construction, risk perception and image analysis" é um pilar da área, mas sua baixa densidade aponta para uma articulação ainda incipiente entre esses subtemas, apesar de artigos como Waqar et al. (2024) e Jo et al. (2024) serem recentes.

Finalmente, no quadrante inferior esquerdo, encontram-se os Temas Emergentes ou em Declínio, com baixa centralidade e baixa densidade. "Work-flows" e "economy, operational efficiencies" estão nesta categoria, indicando áreas que podem estar ganhando tração ou perdendo relevância. Um cluster disperso de "Management systems, high-rise buildings, fire safety, sensors, Digital Twin, engineered adsorption systems, decision support systems, and multi-agent systems" sugere diversas subáreas ainda em estágios iniciais de desenvolvimento ou com menor impacto global, embora artigos como Almatared et al. (2024) para “management systems” e Boltsi et al. (2025) para “sensor” mostrem um interesse recente em alguns desses elementos individuais.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

A análise evidencia um campo de pesquisa impulsionado por tecnologias digitais avançadas como BIM, IA e modelagem 3D, com forte foco em sustentabilidade e gestão de Facilities. Áreas especializadas de otimização industrial coexistem com fundamentos como posicionamento interno e construção civil, enquanto diversos tópicos parecem estar em fase inicial de consolidação ou em transição.

5. Análise aprofundada do cluster BIM-gestão da informação e integração do ciclo de vida

Embora todos os documentos do corpus pertençam a um domínio bibliográfico previamente delimitado pela presença do BIM, a análise de coocorrência identificou diferentes configurações temáticas dentro desse universo. Entre elas, um cluster apresentou maior concentração de termos diretamente relacionados ao BIM, à modelagem da informação, à interoperabilidade e à gestão do ciclo de vida. Esse cluster foi selecionado para análise temática em maior granularidade, não com o propósito de demonstrar a centralidade do BIM em relação a outras tecnologias, mas para investigar as especializações internas que caracterizam sua articulação com IoT, IA, Digital Twins, sustentabilidade e manutenção. Para isso foi construído um novo mapa temático, conforme Moresi, Pinho e Costa (2022).

A comparação entre o mapa temático original (com 15 clusters) e o subconjunto derivado do Cluster 1 - BIM (também com 13 subclusters) evidencia uma evolução analítica da compreensão da Gestão de Facilities na manutenção predial em direção a uma maior especialização temática e tecnológica.

No conjunto original, o Cluster 1 - BIM aparecia como núcleo estruturante da digitalização, concentrando conceitos de interoperabilidade, modelagem da informação, ciclo de vida e integração de dados. Ele funcionava como um “hub conceitual”, conectando os demais clusters (IA, desempenho, sustentabilidade, riscos e governança). No cluster 1, foram selecionados as referências com escore igual ou superior a 0,4.

Assim, o novo mapa temático do subconjunto, ficou com 542 documentos e 3186 palavras-chave, revelando a fragmentação produtiva dessa macro temática em 13 subclusters que detalham o ecossistema tecnológico do BIM aplicado à manutenção predial. A mudança dos parâmetros reduziu a dispersão e aumentou a densidade semântica, permitindo distinguir especializações internas, como:

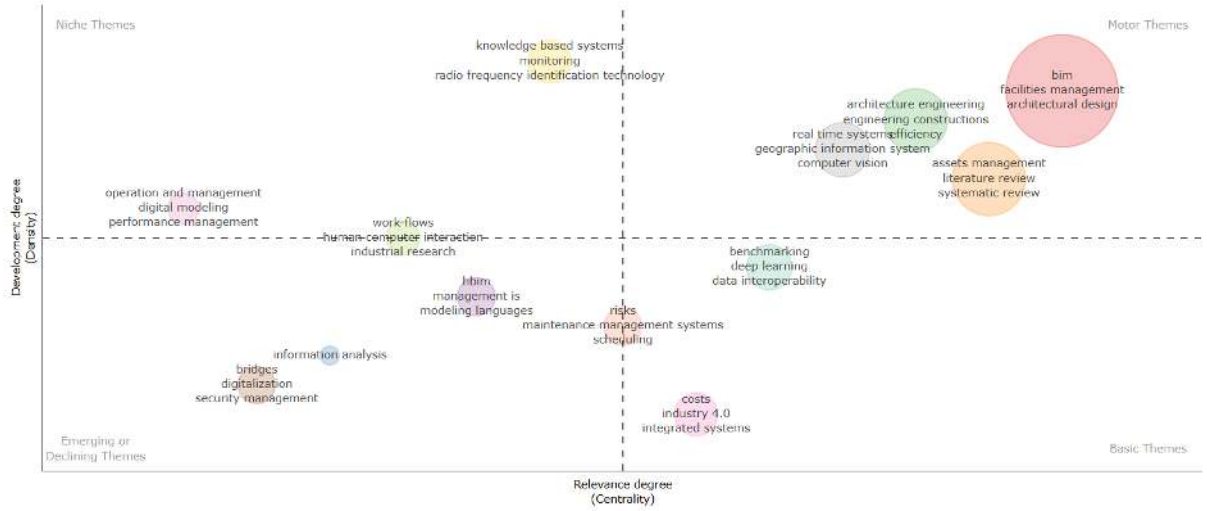
CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

- subclusters focados em gêmeos digitais e IoT (interoperabilidade e monitoramento contínuo);
- outros voltados a inteligência artificial e aprendizado de máquina (análise preditiva e automação de manutenção);
- núcleos dedicados à sustentabilidade, energia e conforto ambiental (avaliação de desempenho e operação eficiente).

Figura 3 - Mapa Temático específico do cluster BIM.



Fonte: Bibliometrix - versão 5.0

Essa nova distribuição evidencia que o BIM, longe de ser apenas ferramenta de modelagem, tornou-se plataforma integradora de dados e processos para a gestão inteligente de ativos. O subconjunto confirma o amadurecimento da pesquisa científica: o campo deixou de tratar o BIM como conceito genérico e passou a abordar suas interseções operacionais com IA, IoT, Digital Twins e análise de dados, temas centrais do foco proposto. A Tabela 2 apresenta a comparação dos principais indicadores do corpus originais com o recorte relativo ao novo subconjunto.

A análise comparativa entre o corpus original (1941 documentos, 2005-2026) e o subconjunto do Cluster 1 - BIM (542 documentos, 2007-2025) demonstra que o grupo “BIM” não constitui apenas um recorte estatístico, mas uma área de pesquisa autônoma, estruturada e em rápida expansão dentro do campo da Gestão de *Facilities* na manutenção predial.

Os dados quantitativos confirmam esse caráter diferenciado. O subconjunto apresenta uma taxa de crescimento anual expressiva (21,34%), contrastando com a do corpus mais amplo (35,68%), o que evidencia a vitalidade e o dinamismo do tema.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

Além disso, a média de citações por documento (26,33%) é um pouco inferior à do corpus original (27,48%). A redução do número de fontes (de 691 para 163) reflete um escopo mais concentrado e especializado.

Tabela 2 - Comparação entre os principais indicadores dos 2 corpus analisados

Descrição	Corpus Original	Subconjunto Cluster 1
PRINCIPAIS INFORMAÇÕES SOBRE O CORPUS		
Período de tempo	2005:2025	2007:2025
Fontes (Periódicos, Anais, Conferências etc)	691	163
Documentos	2063	542
Taxa de Crescimento Anual %	35,68	21,34
Idade média do documento	3,93	3,79
Média de citações por documento	27,48	26,33
Referências	101947	4128
CONTEÚDO DOS DOCUMENTOS		
Palavras-Chave Plus (ID)	9223	2426
Palavras-chave dos Autores (DE)	5120	3186
AUTORES		
Autores	5278	1531
Autores de documentos com um único autor	94	32
COLABORAÇÃO DE AUTORES		
Documentos com um único autor	103	36
Coautores por documento	3,78	3,57
Coautorias internacionais %	26,22	23,06
TIPOS DE DOCUMENTOS		
Artigos	1222	303
Artigos de Conferência	648	186
Artigos de Revisão	193	53

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

Fonte: Bibliometrix - versão 5.0

Os dois corpora apresentam idade média dos documentos bem próximas, reforçando a natureza contemporânea do tema e o dinamismo desta área de pesquisa, mantendo forte conexão com referências clássicas sobre modelagem da informação e interoperabilidade (IFC, ontologias, *Digital Twins*). Em termos colaborativos, o campo permanece altamente cooperativo (média de 3,57 coautores por artigo), embora com leve redução na coautoria internacional (23,06%), possivelmente associada ao crescimento de redes regionais de pesquisa aplicada.

O aumento proporcional de artigos de conferência e revisões reforça o caráter inovador e em rápida evolução da temática, impulsionado por tecnologias emergentes como IA, IoT e gêmeos digitais. A análise qualitativa evidencia uma transição da modelagem informacional para a gestão baseada em inteligência e conectividade, reforçando o papel do BIM como eixo de integração entre manutenção, desempenho e sustentabilidade em contratos de Facilities, o cerne do foco desta pesquisa. O cluster BIM constitui um núcleo estratégico de investigação, combinando alta produtividade, impacto científico e especialização tecnológica, prometendo tornar a gestão de edificações mais inteligente, eficiente, segura e sustentável. No domínio BIM-orientado analisado, o BIM apresenta elevada conectividade temática com a transformação digital na gestão inteligente de Facilities, o cerne do foco desta pesquisa.

6. Análise e Discussão dos Resultados

A transformação digital da gestão de Facilities (FM) representa uma mudança substantiva na forma como os ativos construídos são operados, monitorados e mantidos ao longo de seu ciclo de vida. Os resultados desta pesquisa indicam que essa transformação não decorre da adoção isolada de uma tecnologia, mas da crescente convergência entre Building Information Modeling (BIM), Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e Gêmeos Digitais (Digital Twins - DT). Os resultados caracterizam as formas pelas quais o BIM vem sendo articulado às demais tecnologias para organização da informação, a IoT para viabilizar a aquisição contínua de dados operacionais, a IA para acrescentar capacidades analíticas e preditivas e os Gêmeos Digitais para representar dinamicamente o comportamento dos ativos físicos. Essa convergência sustenta a passagem de uma gestão predominantemente reativa para modelos proativos, preditivos e orientados por

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

dados, ao mesmo tempo em que amplia as possibilidades de integração entre decisões técnicas, operacionais e estratégicas.

A dimensão e as características do corpus confirmam o crescente interesse científico pelo tema. Foram analisados 1.941 documentos publicados em 456 fontes entre 2005 e 2026, envolvendo 5.431 autores e 14.690 referências. A produção apresenta taxa de crescimento anual próxima de 9%, idade média dos documentos de 3,11 anos e média de 22,39 citações por publicação. Além disso, 26,17% dos trabalhos apresentam coautoria internacional, enquanto a média de 3,78 coautores por documento revela uma estrutura de produção fortemente colaborativa. Quanto aos tipos documentais, predominam os artigos científicos, com 1.175 registros, seguidos de 579 trabalhos de conferências e 187 artigos de revisão. Esses indicadores caracterizam um domínio contemporâneo, internacionalizado e multidisciplinar, no qual o conhecimento se desenvolve tanto por meio da investigação consolidada em periódicos quanto pela rápida circulação de inovações em eventos científicos.

A evolução temporal reforça essa interpretação. O documento registra crescimento expressivo da produção, particularmente nos anos mais recentes, indicando que a digitalização da manutenção predial deixou de constituir tema periférico e passou a integrar uma agenda de pesquisa mais ampla sobre transformação digital do ambiente construído. Essa expansão deve ser interpretada conjuntamente com a estrutura conceitual encontrada. O mapa temático identificou múltiplos clusters relacionados a BIM, sustentabilidade, eficiência energética, smart buildings, modelagem 3D, IA, Machine Learning, manutenção, riscos e outros tópicos, revelando que a gestão digital de Facilities está se desenvolvendo na interseção de diferentes domínios tecnológicos e gerenciais. Essa configuração também explica a forte conectividade entre os temas: manutenção inteligente, desempenho energético, gestão de ativos e digitalização dependem progressivamente de uma infraestrutura comum de dados e interoperabilidade.

Um dos resultados mais relevantes é a centralidade assumida pelo BIM. A análise do cluster específico demonstra que ele não representa simplesmente mais uma tecnologia no conjunto investigado, mas um núcleo estruturante do processo de digitalização. O subconjunto BIM compreende 542 documentos e apresenta características particularmente expressivas: taxa anual de crescimento de 21,34%, média de 26,33 citações por documento e 3,57 coautores por publicação. Em comparação com o corpus geral, a taxa de crescimento é mais que duas vezes

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

superior, enquanto a média de citações também é maior, indicando elevada vitalidade e ressonância científica. Esses resultados sustentam a interpretação de que o BIM vem se consolidando como infraestrutura informacional para a integração de diferentes tecnologias aplicadas à operação e manutenção.

Essa conclusão amplia a compreensão tradicional do BIM como representação digital essencialmente vinculada às etapas de projeto e construção. Os resultados mostram uma transição em direção ao BIM como plataforma de gestão de informação durante o ciclo de vida da edificação. Quando conectado a sensores, sistemas de monitoramento, algoritmos analíticos e modelos digitais dinâmicos, o BIM passa a apoiar a manutenção preditiva, a avaliação de desempenho e a gestão estratégica dos ativos. Essa interpretação é consistente com estudos anteriores sobre BIM aplicado à gestão de Facilities, como Becerik-Gerber et al. (2012), Volk, Stengel e Schultmann (2014) e Gao e Pishdad-Bozorgi (2019), aos quais o artigo acrescenta uma leitura centrada na convergência tecnológica. Assim, o resultado mais significativo não reside apenas no crescimento quantitativo das pesquisas sobre BIM, mas na transformação qualitativa de seu papel: de modelo digital da edificação para eixo de integração entre informação, conectividade, inteligência analítica e gestão operacional.

A análise específica do cluster BIM oferece evidências adicionais dessa mudança. O subconjunto formado por 542 documentos e 3.180 palavras-chave foi reorganizado em 13 subclusters, permitindo distinguir especializações relacionadas a Gêmeos Digitais e IoT, voltadas à interoperabilidade e ao monitoramento contínuo; aplicações de IA e Machine Learning, direcionadas à análise preditiva e à automação da manutenção; e núcleos associados à sustentabilidade, energia e conforto ambiental. O próprio artigo interpreta essa configuração como evidência de que o BIM deixou de ser tratado apenas como ferramenta de modelagem e passou a funcionar como plataforma integradora de dados e processos. Desse modo, a fragmentação do macrotema BIM em especializações internas deve ser compreendida menos como dispersão conceitual e mais como sinal de amadurecimento do campo.

Os Gêmeos Digitais ocupam posição estratégica nessa trajetória. A possibilidade de produzir representações virtuais dinâmicas das edificações amplia substancialmente a capacidade de monitoramento, simulação e tomada de decisão. Os DTs estabelecem uma ponte entre a representação digital e o comportamento efetivo dos ativos, alimentada por dados provenientes da IoT. O artigo mostra que

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

essa integração já aparece consolidada em clusters associados à manutenção preditiva, eficiência energética e gestão estratégica de ativos. Entretanto, a adoção em escala permanece condicionada à existência de infraestrutura digital adequada, interoperabilidade entre plataformas, qualidade dos dados e competências profissionais capazes de converter os resultados analíticos em decisões gerenciais. Portanto, embora o avanço tecnológico seja evidente, a consolidação dos DTs em Facilities Management exige superar barreiras que ultrapassam a dimensão estritamente computacional.

A Inteligência Artificial constitui outra frente decisiva. *Machine Learning* e *Deep Learning* têm sido utilizados para previsão de falhas, otimização de sistemas HVAC e análise de dados operacionais, enquanto técnicas de Processamento de Linguagem Natural ampliam a capacidade de explorar informações não estruturadas presentes em ordens de serviço e relatórios técnicos. O corpus registra aplicações voltadas à previsão do consumo energético, ao diagnóstico de falhas, à previsão de cargas de resfriamento e à classificação de ordens de serviço. Esses resultados demonstram que a IA pode transformar grandes volumes de dados produzidos pelos sistemas prediais em informações úteis para a decisão. Em termos operacionais, isso favorece a antecipação de falhas, a priorização de intervenções, a redução de indisponibilidades e o uso mais eficiente dos recursos de manutenção.

Todavia, a pesquisa também identifica uma contradição central: a maturidade tecnológica não é acompanhada, na mesma intensidade, pela maturidade organizacional. Embora existam evidências substanciais sobre a viabilidade técnica de BIM, IoT, IA e Gêmeos Digitais, permanecem pouco desenvolvidas as pesquisas sobre como essas tecnologias são efetivamente incorporadas aos processos gerenciais e decisórios. O artigo destaca que pouco se conhece sobre a maneira pela qual gestores não especializados em dados interpretam previsões algorítmicas, quais interfaces facilitam decisões rápidas e quais mecanismos favorecem a confiança nos sistemas automatizados. Esse resultado desloca o problema científico da pergunta “as tecnologias funcionam?” para questões mais complexas: “como incorporá-las às organizações?”, “como seus resultados devem ser apresentados aos gestores?” e “como transformar capacidade analítica em valor organizacional?”.

Essa lacuna é especialmente importante porque os sistemas inteligentes somente produzem impacto quando suas recomendações são incorporadas aos fluxos reais de trabalho. A pesquisa evidencia um hiato entre o potencial dos modelos

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

analíticos e sua aplicação em ambientes complexos, sobretudo em razão da limitada validação empírica e das dificuldades para integrar resultados computacionais às rotinas gerenciais. Nesse sentido, interfaces homem-máquina, explicabilidade dos modelos, confiança nas recomendações algorítmicas e capacitação dos profissionais deixam de ser questões periféricas e passam a constituir elementos fundamentais da transformação digital da gestão de Facilities. O desenvolvimento de profissionais híbridos, capazes de compreender simultaneamente a lógica operacional dos ativos, a estrutura dos dados e as implicações gerenciais das análises, emerge como oportunidade importante para aproximar o potencial tecnológico da geração efetiva de valor.

A comparação dos resultados com a literatura anterior permite identificar tanto continuidade quanto avanço. Becerik-Gerber et al. (2012), Volk, Stengel e Schultmann (2014) e Gao e Pishdad-Bozorgi (2019) já haviam demonstrado o potencial do BIM para Facilities Management e as dificuldades relacionadas a dados, interoperabilidade e utilização durante a fase operacional. Tang et al. (2019) evidenciaram a crescente integração entre BIM e IoT, apontando tendências para o desenvolvimento de ambientes construídos conectados. Os resultados do presente estudo confirmam essas trajetórias, mas mostram que o campo avançou para uma configuração mais ampla: BIM, IoT, IA e Gêmeos Digitais passam a compor uma infraestrutura tecnológica interdependente, na qual informação, sensoriamento, análise e representação dinâmica convergem para apoiar decisões.

Essa convergência também evidencia os principais desafios futuros. O primeiro é a interoperabilidade, pois a eficácia dos sistemas depende da circulação consistente de dados entre plataformas heterogêneas. O segundo se refere à qualidade e à governança dos dados: modelos incompletos ou informações inconsistentes comprometem tanto a representação dos ativos quanto a confiabilidade das análises. O terceiro desafio é organizacional, relacionado à capacidade de incorporar novas tecnologias às rotinas e estruturas decisórias. O quarto é humano, envolvendo competências, usabilidade, confiança e interpretação das recomendações produzidas por sistemas inteligentes. Finalmente, o quinto desafio é contratual e institucional, especialmente quanto à definição de responsabilidades, indicadores, auditoria e mecanismos de remuneração em ambientes cada vez mais automatizados. Esses desafios demonstram que a próxima etapa da transformação digital de FM exige uma perspectiva sociotécnica e interdisciplinar, e não apenas o desenvolvimento de ferramentas computacionais.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

Esses desafios também se configuram oportunidades de pesquisa. Estudos de caso em edificações reais podem avaliar os impactos da integração BIM-IoT-IA-DT sobre custos, confiabilidade, disponibilidade, eficiência energética e qualidade dos serviços. Pesquisas longitudinais podem examinar como organizações desenvolvem maturidade digital ao longo do tempo. Estudos sobre interação humano-IA podem investigar quais interfaces, explicações e mecanismos de transparência favorecem a utilização de recomendações algorítmicas pelos gestores. Essas frentes correspondem diretamente às lacunas apontadas no próprio artigo, que recomenda investigações empíricas sobre adoção integrada das tecnologias, usabilidade e capacitação, contratos inteligentes e governança de dados.

Os resultados permitem responder à questão de pesquisa ao mostrar que BIM, IoT, Inteligência Artificial e Gêmeos Digitais vêm deixando de constituir trajetórias tecnológicas relativamente independentes para formar um ecossistema convergente de gestão inteligente de Facilities. A contribuição mais relevante do estudo, entretanto, está em evidenciar que a fronteira científica do campo está se deslocando. A questão central já não reside apenas em comprovar a capacidade técnica das tecnologias, mas em compreender como transformá-las em infraestrutura efetiva de decisão, governança e geração de valor. A elevada taxa de crescimento do cluster BIM, sua maior média de citações e sua crescente articulação com IA, IoT e Gêmeos Digitais fornecem evidências bibliométricas dessa transição. Ao mesmo tempo, as lacunas organizacionais, humanas e contratuais revelam que a transformação digital da manutenção predial somente poderá alcançar maior maturidade quando a integração tecnológica for acompanhada por novos processos decisórios, competências profissionais, mecanismos de governança e modelos de contratação orientados por desempenho. Dessa forma, o avanço do campo depende menos da incorporação isolada de novas tecnologias e mais da capacidade de articulá-las em um modelo integrado de gestão de Facilities orientado por dados, desempenho e valor.

7. Limitações da Pesquisa

Este estudo apresenta limitações que devem ser consideradas na interpretação de seus resultados. A principal decorre da própria estratégia de busca adotada. O corpus foi construído a partir de uma abordagem deliberadamente orientada ao Building Information Modeling (BIM), cuja presença constituiu critério de inclusão dos documentos, posteriormente combinada com termos relacionados à

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT), Gêmeos Digitais e aplicações associadas à operação e manutenção de edificações. Consequentemente, os resultados caracterizam a estrutura e a evolução da literatura BIM-orientada em Facilities Management, não o universo completo da transformação digital nesse campo.

Essa delimitação possui implicações para a interpretação das medidas bibliométricas. A elevada conectividade temática do BIM e sua associação com IA, IoT, Gêmeos Digitais, sustentabilidade, eficiência energética e manutenção devem ser compreendidas no interior do domínio bibliográfico previamente delimitado. Portanto, o desenho da pesquisa não permite estabelecer comparativamente que o BIM seja a tecnologia mais central ou predominante em todo o campo da transformação digital em Facilities Management. A centralidade observada corresponde à estrutura conceitual do corpus analisado, cuja seleção já pressupunha a presença do BIM. Essa restrição é particularmente relevante para a interpretação do subconjunto de 542 documentos utilizado para aprofundar a estrutura temática associada ao BIM.

Outra limitação refere-se à utilização exclusiva da base Scopus. Embora essa base apresente ampla cobertura das áreas de engenharia, ciência da computação e gestão e disponibilize metadados adequados às análises bibliométricas realizadas, a opção por uma única fonte pode excluir documentos indexados exclusivamente em outras bases. Adicionalmente, os filtros aplicados aos tipos documentais e ao idioma delimitam a abrangência da literatura representada no corpus. Dessa forma, os resultados devem ser interpretados como uma representação bibliométrica do domínio definido pelos critérios de busca, indexação e seleção empregados neste estudo.

As análises de coocorrência de palavras-chave e os mapas temáticos também possuem limitações inerentes aos metadados bibliográficos. A formação dos clusters depende da terminologia empregada pelos autores, da padronização das palavras-chave e dos parâmetros utilizados na construção das redes e na detecção das comunidades. Assim, proximidade, centralidade e densidade temática representam relações bibliométricas entre termos e documentos e não devem, isoladamente, ser interpretadas como evidência da superioridade tecnológica, da efetividade operacional ou da adoção dessas tecnologias na prática profissional.

Finalmente, o caráter predominantemente bibliométrico da pesquisa permite identificar padrões de produção científica, convergências tecnológicas, estruturas

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

temáticas e lacunas de investigação, mas não permite avaliar diretamente os efeitos da integração BIM-IoT-IA-Digital Twins sobre desempenho operacional, custos, confiabilidade, eficiência energética ou resultados organizacionais. Tais relações requerem estudos empíricos, estudos de caso e pesquisas longitudinais em ambientes reais de Facilities Management.

Como desdobramento, pesquisas futuras poderão empregar estratégias de busca tecnologicamente neutras, partindo do domínio de Facilities Management e incorporando BIM, IoT, IA, Gêmeos Digitais e outras tecnologias como objetos de comparação, e não como critérios obrigatórios de inclusão. Esse desenho permitirá comparar sua presença, centralidade, evolução e inter-relações no campo mais amplo da transformação digital em FM, complementando a perspectiva BIM-orientada desenvolvida neste estudo.

8. Considerações Finais

A transformação digital da gestão de Facilities (Facilities Management - FM), particularmente no contexto da operação e manutenção de edificações, vem reconfigurando os processos de gestão de ativos ao longo de seu ciclo de vida. Por meio de uma revisão bibliométrica da produção científica internacional, esta pesquisa permitiu caracterizar a evolução e a estrutura intelectual e temática da literatura que articula Building Information Modeling (BIM) a tecnologias digitais emergentes, com destaque para Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e Gêmeos Digitais (Digital Twins - DT), aplicadas à gestão de Facilities.

Os resultados evidenciam que, no conjunto da literatura explicitamente orientada à integração do BIM com tecnologias digitais aplicadas ao FM, há crescente articulação entre modelagem da informação, sensoriamento conectado, recursos analíticos baseados em IA e representações digitais dinâmicas dos ativos físicos. Nesse contexto, o BIM desempenha papel relevante na estruturação, integração e interoperabilidade de informações geométricas e semânticas das edificações. Sua associação com dispositivos IoT, algoritmos de IA e Digital Twins amplia as possibilidades de utilização dos dados ao longo da fase operacional, favorecendo configurações de gestão progressivamente mais conectadas, automatizadas e orientadas por dados.

A estrutura temática identificada indica que essas integrações vêm sendo aplicadas principalmente ao monitoramento contínuo, à manutenção preditiva, ao diagnóstico de falhas, à eficiência energética e à gestão de ativos. A literatura

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

demonstra avanços importantes na utilização de técnicas de Machine Learning para identificação e previsão de falhas, na construção de Digital Twins voltados à operação e manutenção e no emprego de Processamento de Linguagem Natural para exploração de dados não estruturados. A presença de frameworks, arquiteturas e modelos experimentais evidencia a crescente maturidade técnica dessas soluções e sua capacidade potencial de apoiar decisões operacionais e estratégicas em FM.

Entretanto, esses resultados devem ser interpretados à luz do desenho metodológico da pesquisa. Como a presença do BIM constituiu critério prévio de inclusão dos documentos no corpus analisado, os resultados não permitem afirmar que essa tecnologia seja necessariamente a mais central em todo o universo da transformação digital em Facilities Management. A centralidade observada refere-se, portanto, ao domínio bibliográfico delimitado pela estratégia de busca adotada. Essa consideração constitui uma limitação relevante do estudo e, simultaneamente, aponta uma oportunidade para pesquisas bibliométricas futuras baseadas em estratégias tecnologicamente neutras, capazes de comparar diretamente a presença, a centralidade e as relações entre BIM, IoT, IA, Digital Twins e outras tecnologias digitais no campo do FM.

Além dessa delimitação, uma das principais contribuições da pesquisa consiste na identificação de um descompasso entre o avanço técnico das soluções digitais e o desenvolvimento das dimensões organizacionais, humanas, estratégicas, normativas e contratuais necessárias à sua efetiva incorporação aos processos de Facilities Management. Embora a literatura apresente soluções tecnologicamente sofisticadas, permanecem relativamente pouco exploradas questões relacionadas à interação dos gestores operacionais com plataformas digitais de suporte à decisão, particularmente quanto à usabilidade, ao desenho de interfaces, à apresentação e interpretação de insights analíticos, à capacitação profissional e à construção de confiança em recomendações produzidas por sistemas baseados em IA. A superação dessas barreiras é fundamental para converter capacidade tecnológica em valor organizacional efetivo.

Essa lacuna também se manifesta na estruturação de Contratos Baseados em Performance (CBPs). A capacidade de monitorar continuamente o estado dos ativos, prever falhas e mensurar indicadores de desempenho em tempo próximo ao real cria condições para modelos contratuais orientados a resultados, em complemento ou substituição a contratos predominantemente estruturados por escopo. Contudo, a literatura analisada ainda oferece evidências limitadas sobre os

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

mecanismos necessários para estruturar, auditar e operacionalizar esses contratos. Nesse contexto, tecnologias como contratos inteligentes constituem possibilidades de investigação para registro verificável de indicadores, acompanhamento de níveis de serviço (SLAs) e eventual automatização de processos vinculados ao cumprimento de metas de desempenho.

Do ponto de vista científico, os resultados caracterizam um campo em expansão, interdisciplinar e internacionalizado, situado principalmente na interface entre engenharia, construção, arquitetura, ciência da computação e gestão de ativos. A análise bibliométrica permitiu identificar os principais atores científicos, fontes de publicação, documentos, redes de colaboração e temas que estruturam esse domínio, oferecendo uma visão sistematizada de sua trajetória e de suas tendências emergentes. Para pesquisadores, essa cartografia evidencia oportunidades de investigação que ultrapassam a dimensão estritamente tecnológica; para profissionais de Facilities Management, contribui para compreender como a convergência tecnológica pode modificar processos de manutenção, tomada de decisão, modelos de negócio e relações contratuais.

A partir das lacunas identificadas, quatro frentes mostram-se particularmente relevantes para uma agenda futura de pesquisa: a realização de estudos empíricos e longitudinais sobre a adoção integrada de BIM, IoT, IA e Digital Twins em ambientes reais de operação, especialmente em edificações públicas, complexas ou de grande porte; a investigação da usabilidade, do design de interfaces, da explicabilidade dos sistemas e das competências requeridas dos profissionais de FM; o desenvolvimento e a validação de modelos de contratação orientados por desempenho, incluindo contratos inteligentes e mecanismos automatizados de acompanhamento de SLAs; e a análise interdisciplinar da governança de dados, interoperabilidade, segurança, responsabilidade técnica, transparência e aspectos éticos associados à crescente automação dos processos de operação e manutenção.

Portanto, a literatura analisada aponta para uma evolução do BIM-FM em direção a ecossistemas digitais mais integrados, dinâmicos e orientados por dados, nos quais IoT, IA e Digital Twins ampliam as capacidades de monitoramento, análise, previsão e suporte à decisão. Mais do que afirmar a predominância de uma tecnologia específica, os resultados sugerem que o avanço da transformação digital em Facilities Management depende da capacidade de integrar tecnologias, dados, pessoas, processos e mecanismos de governança. O desafio futuro, portanto, não

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

reside apenas no desenvolvimento e na validação técnica das ferramentas, mas na construção de modelos organizacionais, gerenciais, contratuais e humanos capazes de transformar essa convergência tecnológica em desempenho operacional, confiabilidade dos ativos e geração sustentável de valor ao longo do ciclo de vida das edificações.

Os resultados devem ser interpretados considerando a delimitação metodológica do estudo, cujo corpus foi construído segundo uma perspectiva BIM-orientada. Assim, as relações e a centralidade temática identificadas caracterizam esse domínio bibliográfico específico e não permitem estabelecer a predominância do BIM no universo mais amplo da transformação digital em Facilities Management. Essa delimitação, discutida na seção de limitações da pesquisa, também fundamenta a proposição de estudos futuros baseados em estratégias de busca tecnologicamente neutras.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Católica de Brasília e ao programa PPI Softex pelo apoio na publicação do presente artigo, por meio do Acordo nº TPA/194/SOFTEX/UCB - Residência em TIC 04B - TIC em Trilhas, financiado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação com recursos da Lei nº 8.248, de 23 de outubro de 1991.

Referências

ABDELALIM, A. M. et al. Optimizing facilities management through artificial intelligence and digital twin technology in mega-facilities. *Sustainability*, v. 17, n. 5, art. 1826, 2025. DOI: 10.3390/su17051826.

AHMAD, A.; ALSHURIDEH, M. T. Quantitative exploration of digital facility management adoption among United Arab Emirates facility managers. *International Journal of Data and Network Science*, v. 8, n. 3, p. 1387-1398, 2024. DOI: 10.5267/j.ijdns.2024.4.004.

ALMATARED, M. et al. Digital-twin-based fire safety management framework for smart buildings. *Buildings*, v. 14, n. 1, art. 4, 2024. DOI: 10.3390/buildings14010004.

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, 2012. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

BLAMPAIN, F. et al. Digital thread and building lifecycle management for industrialisation of construction operations: a state-of-the-art review. In: *International Joint Conference on Mechanics, Design Engineering and Advanced Manufacturing* - JCM 2022. Cham: Springer, 2023. p. 884-894. DOI: 10.1007/978-3-031-15928-2_77.

BOLTSI, A. et al. Towards a novel digital twin framework proposal within the engineering design process for future engineers: an IoT smart building use case. *Sensors*, v. 25, n. 11, art. 3504, 2025. DOI: 10.3390/s25113504.

CALLON, M.; COURTIAL, J. P.; LAVILLE, F. Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: the case of polymer chemistry. *Scientometrics*, v. 22, n. 1, p. 155-205, 1991. DOI: 10.1007/BF02019280.

CHATSUWAN, M.; ICHINOSE, M.; ALKHALAF, H. Enhancing facility management with a BIM and IoT integration tool and framework in an open standard environment. *Buildings*, v. 15, n. 11, art. 1928, 2025. DOI: 10.3390/buildings15111928.

CHEN, W. et al. BIM-based framework for automatic scheduling of facility maintenance work orders. *Automation in Construction*, v. 91, p. 15-30, 2018. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.03.007.

CHENG, J. C. P.; CHEN, W.; CHEN, K.; WANG, Q. Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms. *Automation in Construction*, v. 112, art. 103087, 2020. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103087.

CONGIU, E.; QUAQUERO, E.; RUBIU, G.; VACCA, G. Building information modeling and geographic information system: integrated framework in support of facility management (FM). *Buildings*, v. 14, n. 3, art. 610, 2024. DOI: 10.3390/buildings14030610.

DENG, M.; MENASSA, C. C.; KAMAT, V. R. From BIM to digital twins: a systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry. *Journal of Information Technology in Construction*, v. 26, p. 58-83, 2021. DOI: 10.36680/j.itcon.2021.005.

D'ORAZIO, M.; BERNARDINI, G.; DI GIUSEPPE, E. Automated priority assignment of building maintenance tasks using natural language processing and machine learning. *Journal of Architectural Engineering*, v. 29, n. 3, 4023027, 2023. DOI: 10.1061/JAEIED.AEENG-1516.

ENSAFI, M.; HARODE, A.; THABET, W. Y. Developing systems-centric as-built BIMs to support facility emergency management: a case study approach. *Automation in Construction*, v. 133, art. 104003, 2022. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.104003.

GAO, X.; PISHDAD-BOZORGI, P. BIM-enabled facilities operation and maintenance: a review. *Advanced Engineering Informatics*, v. 39, p. 227-247, 2019. DOI: 10.1016/j.aei.2019.01.005.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

HOSAMO, H.; HOSAMO, M. H.; NIELSEN, H. K.; SVENNEVIG, P. R.; SVIDT, K. Digital twin of HVAC system (HVACDT) for multiobjective optimization of energy consumption and thermal comfort based on BIM framework with ANN-MOGA. *Advances in Building Energy Research*, v. 17, n. 2, p. 125-171, 2023. DOI: 10.1080/17512549.2022.2136240.

ISMAIL, A. et al. Building information modelling in hospital facilities management services: a significant systematic review. *Journal of Advanced Research Design*, v. 135, n. 1, p. 101-116, 2025. DOI: 10.37934/ard.135.1.101116.

JAFARY, P.; SHOJAEI, D.; RAJABIFARD, A.; NGO, T. A BIM-based framework for building depreciation estimation through maintenance management integration. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. XLVIII-G-2025, p. 687-694, 2025. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-G-2025-687-2025.

JO, H. et al. Generative artificial intelligence and building design: early photorealistic render visualization of façades using local identity-trained models. *Journal of Computational Design and Engineering*, v. 11, n. 2, p. 85-105, 2024. DOI: 10.1093/jcde/qwae017.

MATOS, R. V. et al. BIM-FM integrated solution resourcing to digital techniques. *Neural Computing and Applications*, v. 36, n. 20, p. 11833-11847, 2024. DOI: 10.1007/s00521-023-08907-0.

MATOS, R. V. et al. Convolutional neural networks and regression algorithms supporting buildings facility management. *Buildings*, v. 13, n. 11, art. 2805, 2023. DOI: 10.3390/buildings13112805.

MESÁROŠ, P. et al. Management and maintenance of buildings in BIM environment: facility management of historic buildings (HBIM). In: *9th International Conference on Mobility, IoT and Smart Cities*, 2023. p. 179-193. DOI: 10.1007/978-3-031-28225-6_12.

MORESI, E. A. D.; PINHO, I.; COSTA, A. P. *How to Operate Literature Review Through Qualitative and Quantitative Analysis Integration*? BT - Computer Supported Qualitative Research (A. P. Costa, A. Moreira, M. C. Sánchez-Gómez, & S. Wa-Mbaleka (Eds.), p. 194-210, 2022.

PAN, Y.; BRAUN, A.; BRILAKIS, I.; BORRMANN, A. Enriching geometric digital twins of buildings with small objects by fusing laser scanning and AI-based image recognition. *Automation in Construction*, v. 140, art. 104375, 2022. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104375.

PÄRN, E. A.; EDWARDS, D. J. Conceptualising the FinDD API plug-in: a study of BIM-FM integration. *Automation in Construction*, v. 80, p. 11-21, 2017. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.03.015.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

PÄRN, E. A.; EDWARDS, D. J.; RIAZ, Z.; MEHMOOD, F.; LAI, J. Engineering-out hazards: digitising the management working safety in confined spaces. *Facilities*, v. 37, n. 3/4, p. 196-215, 2019. DOI: 10.1108/F-03-2018-0039.

PÄRN, E.; EDWARDS, D.; SING, M. C. P. The building information modelling trajectory in facilities management: a review. *Automation in Construction*, v. 75, p. 45-55, 2017. DOI: 10.1016/j.autcon.2016.12.003.

QUINELLO, R.; SOUZA NASCIMENTO, P. T. de. The use of artificial intelligence in facilities management: potential applications from systematic literature review. *Artificial Intelligence and Applications*, v. 3, n. 3, p. 223-235, 2025. DOI: 10.47852/bonviewAIA52023691.

SANZANA, M. R. et al. Analysis of machine learning techniques for predictive maintenance in cooler condition. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTELLIGENT SIGNAL PROCESSING AND COMMUNICATION SYSTEMS - ISPACS*, *2022*, Penang, IEEE, 2022, p. 1-4. DOI: 10.1109/ISPACS57703.2022.10082814.

SCHÖNFELDER, P.; KÖNIG, M. Deep learning-based text detection on architectural floor plan images. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 1101, n. 8, art. 082017, 2022. DOI: 10.1088/1755-1315/1101/8/082017.

SHEN, Y. T.; YANG, C. E.; LU, P. The integration of BIM and IoT for air quality monitoring and visualization. In: *HCI International 2019 - Posters*. Cham: Springer, 2019, p. 515-520. p. 515-520. DOI: 10.1007/978-3-030-23528-4_70.

SIVASANKARI, N.; RATHIKA, P. IoT driven building automation systems: a review on energy efficiency, occupant comfort, and sustainability. *Journal of Building Engineering*, v. 104, art. 112347, 2025. DOI: 10.1016/j.jobe.2025.112347.

SOBHKHIZ, S.; EL-DIRABY, T. A semi-supervised framework for generating multi-dimensional taxonomies from asset maintenance documents. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 161, pt. A, art. 112010, 2025. DOI: 10.1016/j.engappai.2025.112010.

TANG, S. et al. A review of building information modeling (BIM) and the Internet of Things (IoT) devices integration: present status and future trends. *Automation in Construction*, v. 101, p. 127-139, 2019. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.01.020.

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: 10.1016/j.autcon.2013.10.023.

WAQAR, A.; OTHMAN, I. B.; MANSOOR, M. S. Building information modeling (BIM) implementation and construction project success in Malaysian construction industry: mediating role of project control. *Engineering, Construction and Architectural Management*, v. 32, n. 9, p. 6095-6114, 2024. DOI: 10.1108/ECAM-08-2023-0794.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 14/08/2026 - **Accepted:** 18/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/dkwm8054
Pages: 1-28

ZHOU, J. Multi-dimensional model and interactive simulation of intelligent construction based on digital twins. *Scientific Reports*, v. 15, n. 1, art. 32189, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-17100-3.

ZHUANG, D. et al. A performance data integrated BIM framework for building life-cycle energy efficiency and environmental optimization design. *Automation in Construction*, v. 132, art. 103712, 2021. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103712.

CC BY