

Oliveira, R., Souza, A., Sávio, R., Bastos, D. (2024). Proposta de integração de drone e BIM na gestão da manutenção de edificações públicas de ensino. En Herrera, R.F., Salazar, L.A., (Editores), *Actas del IX Congreso Iberoamericano de Gestión y tecnología de la Construcción* (IX ELAGEC2024).

PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO DE DRONE E BIM NA GESTÃO DA MANUTENÇÃO DE EDIFICAÇÕES PÚBLICAS DE ENSINO

Rafael Oliveira Sena¹ - rafael.osena@outlook.com

Alisson Souza Silva² - so_alisson@hotmail.com

Reymard Sávio S. Melo³ - reymard.savio@ufba.br

Dayana Bastos Costa⁴ - dayanabcosta@ufba.br

^{1,2,3,4}Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.

RESUMO

As edificações de Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) enfrentam dificuldades na gestão da manutenção (GM) da envoltória dos edifícios devido à ausência de informações do ativo construído e à falta de processos padronizados e transparentes. Este estudo propõe um método preliminar para integrar drones e BIM no apoio à GM de edificações públicas com baixa maturidade digital. A abordagem da Pesquisa Construtiva foi adotada, desenvolvendo-se em cinco etapas, com foco nas fases de Conscientização e Sugestão. A Conscientização envolveu uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) e um Estudo Exploratório em uma IFES, incluindo inspeções em dez edifícios e a aplicação de um questionário com a equipe de GM. A Sugestão apresentou uma proposta preliminar do método. A RSL identificou como principal lacuna a falta de estudos em contextos de baixa maturidade digital, destacando o uso de ferramentas caras e complexas. O estudo exploratório revelou falhas nas manutenções e a ausência de diretrizes claras. Entrevistas confirmaram a falta de cultura preventiva e a escassez de mão de obra. Essas informações fundamentaram a proposta preliminar do método. Os próximos passos incluem implementar e avaliar o método em dois estudos de caso visando melhorar a transparência e a eficiência na GM.

PALAVRAS-CHAVE

Manutenção predial; Inspeção; Setor público; Drone; Building Information Modeling.

INTRODUÇÃO

As edificações estão sujeitas ininterruptamente a ações que desgastam seus componentes durante o uso. Os sistemas de envoltória do edifício, como coberturas e fachadas, sofrem

processos de degradação ainda mais severos, uma vez que estão sujeitos à incidência direta de intempéries e atuam como interfaces ao meio em que estão inseridas (Madureira *et al.*, 2017). As ações atuantes sobre as fachadas ocasionam comportamentos distintos nas diversas camadas que compõem o sistema, constituídas por materiais de diferentes composições e características mecânicas (Bauer, 2020). Tais ações podem ter origens diversas, como física, química, mecânica e biológica (Gaspar; De Brito, 2008). Bauer (2020) explica que a ação desses agentes pode afetar as resistências das camadas de revestimentos, levando à perda de desempenho e a possíveis falhas do sistema, como a falha de aderência.

Estima-se que os custos com manutenções em uma edificação com 50 anos de idade podem representar cerca de 75 a 80% dos custos totais despendidos (Hauashdh, 2022). Diante do crescimento do número de edificações antigas mundialmente, a operação de manutenções tem se tornado uma questão crucial em escala global (Islam *et al.*, 2021). Hauashdh (2022) alerta sobre o aumento significativo dos custos quando são promovidas manutenções ineficazes, que demandam intervenções de maior complexidade. Além disso, Salzano *et al.* (2023) apontam que a gestão da manutenção (GM) de edifícios na fase de Operação e Manutenção (O&M) representa a atividade que mais gera gasto durante o ciclo de vida, com 60% dos custos totais. Diante desse percentual, observa-se a importância dessa atividade.

Segundo Chua *et al.* (2018), para a implementação de uma GM adequada de edificações, devem ser considerados fatores como gestão de documentações e projetos, organização e planejamento das atividades, estabelecimento de padrões de procedimentos, gerenciamento de custos e sustentabilidade. Au-Yong *et al.* (2019) ressaltam que a relevância de fatores financeiros e de tempo reforça a necessidade de planejamento e atenção às atividades de manutenção. Embora existam inúmeros trabalhos que discutem os impactos da GM nas edificações, Islam *et al.* (2021) afirmam que o cenário atual da construção civil, em escala global, ainda é composto majoritariamente por edificações sem manutenções ou com manutenções precárias, independentemente da idade de utilização. Buron (2018) observa que o Brasil enfrenta um cenário similar, com edificações sofrendo devido à falta ou precariedade de manutenção, e enfatiza a necessidade de conscientização dos gestores e proprietários para prevenir acidentes e preservar o patrimônio.

No contexto de edificações públicas, devem ser consideradas nuances referentes às leis que regem a prestação de serviços, seja por equipes internas ou por contratações externas através de licitações (TCU, 2014). Assim, cabe aos gestores dominarem não apenas a técnica, mas também as legislações pertinentes e formalidades administrativas (da Fontoura *et al.*, 2020). Em um contexto mais específico, as instituições de ensino públicas apresentam ainda maior complexidade, pois contemplam instalações destinadas a diversas atividades e são compostas por diferentes tipologias construtivas que demandam cuidados distintos (Moreno *et al.*, 2022).

Apesar das dificuldades, existem leis brasileiras que estabelecem diretrizes para garantir o desempenho das edificações. Diversas normas orientam a manutenção, como a NBR 5674 (ABNT, 2024) para organização de sistemas de manutenção, a NBR 14037 (ABNT, 2024) para operações de manutenção, a NBR 15575 (ABNT, 2024) focada no

desempenho habitacional, e a NBR 16280 (ABNT, 2024) para reformas. A NBR 5462 (ABNT, 1994) define manutenção como atividades técnicas e administrativas para preservar a integridade de um item, enquanto a NBR 16747 (ABNT, 2020) trata do desempenho dos sistemas de uma edificação ao longo de sua vida útil.

Além das normas direcionadoras, diversas tecnologias podem auxiliar na gestão de manutenção (GM) dos edifícios. Drones, por exemplo, podem rapidamente coletar informações sobre o estado atual das edificações (Silva *et al.*, 2024). A modelagem da informação da construção (BIM) também é uma ferramenta útil, pois pode interagir com a GM, fornecendo dados materiais e espaciais, relatórios, análises técnicas, ou servindo como interface para um repositório que possibilita a aquisição, monitoramento, processamento e transformação de dados (Volk *et al.*, 2014). A integração de ativos visuais coletados por drones com modelos BIM pode apoiar significativamente a GM.

Nesse contexto, estudos sobre essa integração focam no desenvolvimento de métodos para detecção automática de danos (Tan *et al.*, 2024; Gan *et al.*, 2023; Tan *et al.*, 2022; Hamdan *et al.*, 2021; Xu e Turkan, 2020; Solla *et al.*, 2020; Ribeiro *et al.*, 2020; Serrat *et al.*, 2020). Esses estudos também incorporam tecnologias complexas e caras, como laser scanners. Alguns abordam processos manuais de detecção e integração de dados visuais referentes a manifestações patológicas ao BIM, sem depender de algoritmos de processamento de imagens (Jofré-Briceño *et al.*, 2021; Rodrigues *et al.*, 2023; Matos *et al.*, 2023). No entanto, ainda há uma carência de métodos aplicáveis em cenários de baixa maturidade digital, conforme a proposta deste trabalho.

Diante deste contexto, este trabalho propõe um método preliminar para integração de drones e BIM para apoio à GM de envoltória de edificações públicas com baixa maturidade digital. Para tanto, foi realizado um levantamento do estado da arte por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura, buscando compreender como o meio científico tem integrado a utilização de drones à modelagem da informação da construção para apoio à gestão da manutenção. Além disso, buscou-se levantar os problemas práticos a partir de um estudo exploratório em uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES), visando identificar as dificuldades atualmente vivenciadas.

REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL)

O uso de drones tem se mostrado uma tecnologia promissora para inspeções periódicas em edifícios, permitindo coletar imagens de locais de difícil acesso, em alta resolução e de grandes alturas, aproximando-se de fachadas e coberturas e possibilitando a captura de anomalias não observáveis a longas distâncias (Ballesteros e Lordsleem Junior, 2020). Complementarmente, o BIM oferece uma plataforma comum para criar e gerenciar digitalmente todos os recursos de um projeto de construção, desde a concepção até a operação (Ragab e Marzouk, 2021). Ele permite a visualização do produto final em um ambiente de simulação, ajudando a identificar potenciais problemas e riscos (Zomer *et al.*, 2021), proporcionando grandes benefícios a todas as partes interessadas no setor da construção. O Quadro 1 apresenta o estado da arte da integração de drones e BIM para apoio à Gestão da Manutenção (GM) de edifícios.

Oliveira, R., Souza, A., Sávio, R., Bastos, D. (2024). Proposta de integração de drone e BIM na gestão da manutenção de edificações públicas de ensino. Em Herrera, R.F., Salazar, L.A., (Editores), *Actas del IX Congreso Iberoamericano de Gestión y tecnología de la Construcción* (IX ELAGEC2024).

Quadro 1 – Estado da arte

Fonte	Objeto inspecionado	Manifestações patológicas analisadas	Tecnologia Digital utilizada para		Os autores discutem como a técnica pode ser integrada à GM?
			Aquisição de dados	Processamento de dados	
Tan <i>et al.</i> , 2024	Fachada	Fissuras	Drone	BIM; Edge Computing, Star Algorithm; Genetic Algorithm (GA); K-Means Algorithm	Não
Gan <i>et al.</i> , 2023	Pontes	Fissuras	Drone	BIM; Faster R-CNN Algorithm	Não
Rodrigues <i>et al.</i> , 2023	Edifício Histórico	Manchas; desintegração de revestimentos; fissuras	Drone; Terrestrial Laser Scanning (TLS); Real Time Kinematic (RTK); DroneDeploy	BIM; SketchUp Pro (Trimble); ArcGis Pro (Esri)	Sim
Matos <i>et al.</i> , 2023	Fachada	Fissuras; manchas	Drone; Digital Single-Lens Reflex (DSLR) camera	BIM; Metashape (Agisoft); Autodesk ReCap; Dynamo (Autodesk)	Sim
Tan et al, 2022.	Fachada	Fissuras	Drone; Real Time Kinematic (RTK)	BIM; Mask R-CNN Algorithm; Dynamo (Autodesk)	Sim
Jofré-Briceño <i>et al.</i> , 2021	Infraestrutura portuária	Fissuras; corrosão; descolamento do revestimento	Drone; Structure from Motion – Multi-View Stereo (SfM-MVS)	BIM; Excel (Microsoft)	Sim
Hamdan <i>et al.</i> , 2021	Vigas de concreto	Fissuras	Drone	BIM; Ontology Web Language (OWL); Shapes Constraint Language (SHACL)	Não
Xu; Turkan 2020	Pontes	Fissuras	Drone	BIM; MATLAB; BIM 360 Glue; Notepad ++	Sim
Solla <i>et al.</i> , 2020	Edifício Histórico	Patinas; crostas	Drone; Terrestrial Laser Scanning; Ground Penetrating Radar (GPR); Infrared Thermography	BIM; ReCAP (Autodesk); eCognition Developer v9.5 (Trimble); K-Nearest Neighbor (KNN) Algorithm	Não

Ribeiro <i>et al.</i> , 2020	Torre de telecomunicação	Manchas; fissuras; armadura exposta	Drone; Real Time (RTK); Pix4D;	Kinematic	BIM; Image Processing Toolbox (MATLAB); (Autodesk); (Autodesk)	Dynamo Navisworks	Não
Serrat <i>et al.</i> , 2020	Fachada	Capilaridade; lascamento e umidade da fachada;	Drone; Pix4D		BIM; QGIS		Não

Solla *et al.* (2020) adotaram um algoritmo classificador denominado “k-nearest neighbors”, aplicado ao conjunto de ativos visuais coletados por drones, visando a detecção de pátinas e crostas negras presentes na fachada em cantaria de uma edificação histórica. Outros problemas, como alveolização e infiltrações, não foram contemplados devido às limitações do algoritmo. A etapa de integração das informações referentes aos danos detectados junto ao modelo BIM foi realizada através da modelagem de camadas de revestimento de acordo com as superfícies dos elementos analisados. O método proposto possui limitações inerentes ao algoritmo de análise das imagens, tornando-o insuficiente para identificar manifestações patológicas que não apresentem contraste visual acentuado quando comparadas ao seu entorno.

Matos *et al.* (2023) apresentaram um procedimento manual para detecção de danos. Após a coleta de imagens por drones e câmeras fotográficas, foi produzido um modelo BIM onde as manifestações patológicas foram representadas através da criação de famílias contendo *placeholders* (espaços reservados). Esses elementos carregam informações sobre os problemas e o grau de criticidade, representado pela cor do elemento inserido no modelo BIM. O uso de *placeholders* permitiu a identificação das posições dos danos, mas a representação visual do método é limitada e pouco clara, podendo ficar poluída em casos de grande número de manifestações patológicas em uma mesma região.

Os estudos revisados oferecem um panorama das pesquisas que integram dados visuais obtidos por drones aos modelos BIM para apoiar a manutenção de edificações. No entanto, há limitações nos processos de detecção automática, especialmente relacionadas aos requisitos técnicos das imagens e à necessidade de grandes bancos de dados para algoritmos baseados em aprendizado (Tan *et al.*, 2022). Além disso, as representações dos danos, mesmo em estudos mais visuais como os de Rodrigues *et al.* (2023) e Matos *et al.* (2023), ainda carecem de detalhamento. A maioria dos trabalhos utiliza ferramentas avançadas para coleta de dados visuais, o que pode tornar os métodos onerosos.

Embora todos os estudos utilizem drones como tecnologia principal, alguns incorporam ferramentas adicionais para apoiar os métodos. Rodrigues *et al.* (2023) e Solla *et al.* (2020) empregaram scanners a laser terrestres, enquanto Tan *et al.* (2022) e Ribeiro *et al.* (2020) utilizaram tecnologia Real Time Kinematic (RTK) para georreferenciamento. No entanto, essas ferramentas requerem investimentos significativos. Assim, há uma necessidade de métodos que ofereçam diretrizes para a coleta de imagens com drones e sua integração ao BIM, especialmente em contextos de baixa adoção de tecnologias digitais e recursos financeiros limitados, que é o foco deste trabalho.

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) revelou que, apesar da existência de estudos sobre a coleta de ativos visuais de edificações e outros produtos da construção civil, há uma lacuna significativa na integração desses métodos aos processos de gerenciamento de manutenção das estruturas analisadas. Estudos como os de Rodrigues *et al.* (2023), Matos *et al.* (2023), Tan *et al.* (2022), Xu e Turkan (2020) e Ribeiro *et al.* (2020) discutem superficialmente as possibilidades e recomendações para essa integração. Em contraste, Jofré-Briceño *et al.* (2021) desenvolveram um fluxo de trabalho detalhado para a manutenção de infraestrutura portuária, mas sua abordagem apresenta limitações, pois a representação das manifestações patológicas no modelo BIM é feita apenas por alteração

das cores dos elementos modelados, o que se torna inadequado quando essas manifestações têm características variadas ao longo de um elemento ou sistema.

Portanto, os estudos sobre a integração de drones e modelos BIM para a inspeção de edifícios ainda são escassos. A maioria se concentra na detecção automática de danos usando tecnologias avançadas, como scanners a laser (Tan *et al.*, 2024; Gan *et al.*, 2023; Tan *et al.*, 2022; Hamdan *et al.*, 2021; Xu e Turkan, 2020; Solla *et al.*, 2020; Ribeiro *et al.*, 2020; Serrat *et al.*, 2020). Apenas Jofré-Briceño *et al.* (2021), Rodrigues *et al.* (2023) e Matos *et al.* (2023) abordam processos manuais para integrar dados visuais ao BIM, sem utilizar algoritmos de processamento de imagens. Outros autores analisados não discutem aspectos interventivos ou a integração dos dados nas rotinas de manutenção. Sugestões para melhorar a conexão entre pesquisas e práticas de gestão incluem recomendações mais detalhadas sobre protocolos e responsabilidades para a implementação dos métodos propostos.

MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa adotada neste trabalho é a Pesquisa Construtiva, que se caracteriza pelo desenvolvimento de soluções inovadoras para resolver problemas práticos do mundo real, contribuindo simultaneamente para o avanço teórico (Kasanen *et al.*, 1993). O problema identificado diz respeito às dificuldades na geração de informações sobre o estado atual dos edifícios, o que dificulta a GM das envoltórias. Essas soluções inovadoras, ou artefatos, permitem ao pesquisador entender melhor o problema e encontrar soluções viáveis (Hevner *et al.*, 2004). Esta pesquisa faz parte de um projeto mais amplo vinculado a uma dissertação de mestrado e propõe um método como artefato. O estudo é conduzido em quatro etapas, conforme ilustrado na Figura 1, sendo que este artigo se concentra na etapa de conscientização.

A etapa de conscientização envolveu o levantamento de informações sobre os temas relevantes por meio de uma revisão da literatura, a identificação de lacunas no conhecimento através de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) e a investigação e formalização do problema prático por meio de um estudo exploratório. Este estudo exploratório incluiu inspeções em 10 edificações de Instituições Federais de Ensino Superior (IFES), análise das imagens coletadas, reuniões com colaboradores da Secretaria de Manutenção (SM) e a aplicação de um questionário online.

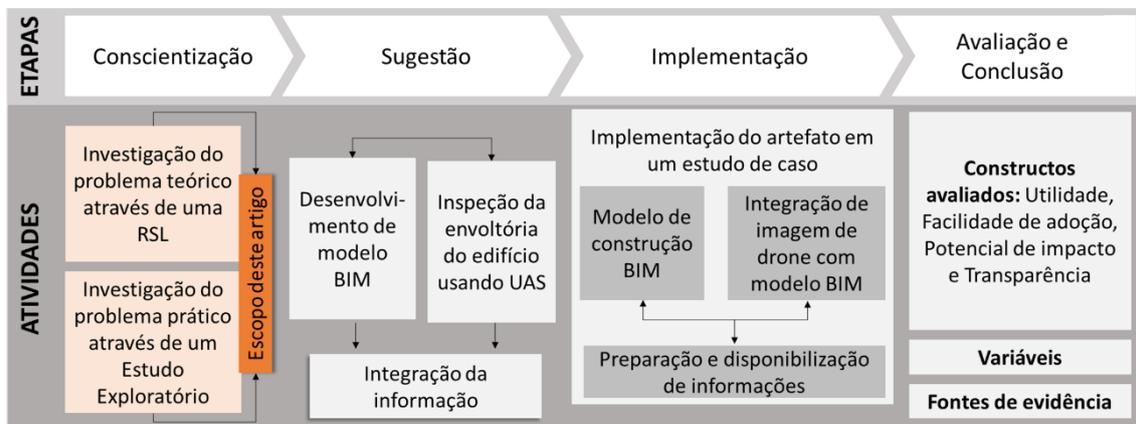


Figura 1. Delineamento da pesquisa

A organização escolhida para o estudo é uma instituição pública voltada para o ensino superior e possui um setor responsável pela gestão de manutenções das edificações e infraestrutura, denominado Setor de Manutenção (SM). De acordo com informações fornecidas pelo SM, a instituição possui cerca de 187 edificações no estado da Bahia, com a maioria localizada em Salvador. Essas edificações variam de construções do século XIX até edificações recentes do século XXI. O SM conta com aproximadamente 189 colaboradores, diretos e indiretos, que atuam nas áreas de projeto, planejamento, orçamento, obras, manutenção e fiscalização das edificações da organização.

REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL)

Para identificação do problema teórico, a estratégia de pesquisa adotada foi uma RSL, que é caracterizada pela revisão de uma pergunta formulada de forma clara e objetiva que utiliza métodos sistemáticos para selecionar, identificar e analisar pesquisas sobre determinado assunto (Kitchenham 2004; Moher *et al.*, 2009; Dresch *et al.*, 2015). Dessa maneira, esse processo foi desenvolvido com o objetivo de promover um reconhecimento inicial dos estudos referentes ao contexto ao qual o presente trabalho destina-se a contribuir. Para isso, foi montada um conjunto de termos de busca (Figura 2) e pesquisado nas bases de dados Scopus e Web of Science. A partir disso, a amostra foi submetida à critérios de inclusão e exclusão para refinamento da amostra inicial buscando alcançar uma amostra final mais representativa e útil à identificação dos métodos de análise e integração de ativos visuais coletados por drones ao BIM em trabalhos voltados a atividades de manutenção.

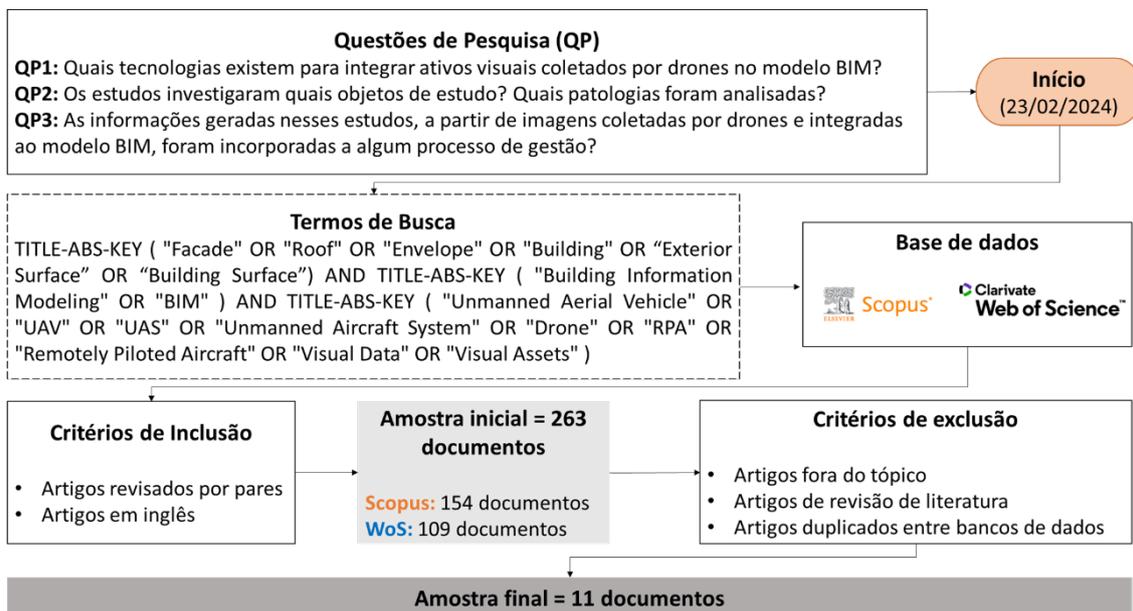


Figura 2. RSL

A amostra inicial referente aos artigos obtidos nas bases de dados Scopus e Web of Science englobou um total de 263 trabalhos. A etapa 1 consistiu na exclusão de artigos duplicados através da comparação de seus títulos, resultando em uma amostra de 168 artigos. Na etapa 2 foi realizada a filtragem através da leitura dos títulos dos trabalhos, onde foram excluídos trabalhos que indicavam utilização exclusiva de ferramentas de coleta de dados que não participam da proposta deste trabalho (ex.: “Terrestrial Laser

Scanner”); objetos de estudo significativamente distintos comparados a edificações (ex.: “Agricultural”); etapas que não sejam a de uso (ex.: “Construction Progress Monitoring”); Ambientes que não sejam externos às edificações (ex.: “Indoor Patch Planning”); Artigos que não indiquem relação à detecção de danos em envoltórias ou métodos de integração de ativos visuais ao BIM (ex.: “Earthwork Volume Calculation” e; Trabalhos de revisão que não tenham sido excluídos pelo filtro incorporado à string. Como resultado da etapa 2, permaneceram 42 artigos. A etapa 3 foi dedicada à leitura dos resumos, aplicando os mesmos critérios da etapa 2, restando 29 trabalhos para a etapa seguinte. Na etapa 4, foram feitas leituras completas dos artigos, ainda utilizando critério similar às etapas 2 e 3. Por fim, a amostra atual referente à string utilizada contempla o total de 11 artigos. Os resultados obtidos nesta etapa foram apresentados na seção 2 do presente artigo.

ESTUDO EXPLORATÓRIO

O estudo exploratório teve como objetivo levantar informações sobre o estado atual das edificações, os projetos das edificações investigadas e realizar um mapeamento preliminar do sistema de gestão da qualidade do SM. Inicialmente, foram realizadas inspeções de telhados e fachadas com drones em dez edificações da instituição de ensino para coletar dados sobre as condições gerais das envoltórias (coberturas, telhados e fachadas), bem como para identificar as dificuldades associadas à coleta de dados com drones. As informações gerais sobre essas inspeções estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2. Informações sobre o estudo exploratório

Edifícios	Data de inspeção	Drone utilizado	Distância percorrida (m)	Altitude máxima (m)	Duração de voo (min)	Quantidade de imagens	Projetos	
							CAD	Revit
E01	15/01/24	DJI Air 2S	1018	48	61	809	●	
E02	19/01/24		2691	99	96	991	●	
E03	22/01/24		1632	78	46	324	●	
E04	22/01/24		810	55	21	259	●	
E05	24/01/24		938	75	25	209	●	
E06	24/01/24		1517	65	42	400	●	
E07	24/01/24		3496	117	63	574	●	
E08	24/01/24		678	43	23	185	●	
E09	26/02/24		951	50	37	300	●	
E10	08/07/24		2821	100	46	796	●	●
Total	-	-	16.552	117	460	4.847	-	-

Após a aquisição das imagens das edificações, elas foram analisadas para identificar as principais manifestações patológicas na envoltória dos edifícios. Os resultados da coleta exploratória foram apresentados em uma reunião com cerca de 20 profissionais da área de gestão da manutenção do SM, com o objetivo de obter as primeiras percepções sobre as informações levantadas e entender as reais necessidades para a gestão da manutenção.

A etapa seguinte envolveu a elaboração de um questionário no Google Forms para identificar os desafios percebidos pela equipe de gestão da manutenção e definir prioridades para o desenvolvimento do artefato. O questionário foi estruturado em duas categorias principais: a primeira para identificar os respondentes e sua atuação no SM, e a segunda para coletar percepções sobre o cenário atual do setor de manutenção e das

edificações gerenciadas (Figura 3). Um pré-teste foi realizado com duas pessoas para garantir a clareza e funcionalidade do questionário antes de seu envio aos colaboradores. As informações sobre os participantes estão descritas no Quadro 3.

Informações pessoais	Coleta de percepções sobre a gestão da manutenção
<ul style="list-style-type: none"> - Nome completo: - E-mail para contato: - Formação acadêmica: - Setor de atuação: <ul style="list-style-type: none"> • Projeto; • Orçamento e planejamento; • Manutenção; • Fiscalização; • Outros (descrever) - Cargo/ Função atual: - Tempo médio de experiência no cargo atual. 	<p>Questão 01: Quais são os atuais desafios que você está enfrentando na gestão da manutenção das edificações? <i>Por favor, indique os 05 itens mais relevantes em sua percepção.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Falta de política de operação e manutenção; • Quantidade insuficiente de recursos financeiros para operação e manutenção; • Quantidade insuficiente de funcionários de operação e manutenção; • Falta de equipe de operação e manutenção experiente e bem treinada; • Falta de resposta rápida a um pedido de manutenção; • Falta de abordagem de manutenção preventiva; • Ausência de protocolos de manutenção; • Falta de consideração de manutenção na fase de projeto do edifício; • Falta de documentação “as built” das edificações; • Escassez de adoção de tecnologias de informação e comunicação e softwares de manutenção; • Falta de técnicas e ferramentas avançadas para detectar defeitos de edificações; • Uso indevido de instalações pelos ocupantes; • Mudança de governo; • Vida útil ultrapassada das edificações. <p>Questão 02: De que forma você acredita que ativos visuais, como fotografias, vídeos e modelos tridimensionais, podem ser úteis em suas atividades?</p>

Figura 3. Questionário aplicado

Quadro 3. Perfil dos respondentes

Formação acadêmica	Área de atuação na Organização	Cargo ou função ocupados	Tempo médio de experiência no cargo atual
Arquitetura e Urbanismo	Projeto	Arquiteta e Urbanista	11 anos
Engenharia Elétrica		Engenheiro Eletricista	5 meses
Engenharia Civil	Planejamento e Orçamento	Chefe de Orçamento e Planejamento	43 anos
		Analista de Orçamento e Planejamento	8 anos
Engenharia Civil	Manutenção	Analista Técnico Operacional III	7 meses
		Engenheira Civil	7 anos
Logística		Fiscal de manutenção	4 meses
Engenharia Civil	Fiscalização	Assistente operacional administrativo III	7 meses
		Apoio à fiscalização de obras	7 meses
		Assistente Operacional III	7 meses
		Assistente Administrativo III	8 meses
		Assistente Operacional de Fiscalização	7 meses

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados obtidos no estudo exploratório. Ao todo, foram inspecionadas dez edificações (Figura 4). A partir das 4.847 imagens coletadas, foi possível analisar as condições atuais das fachadas e telhados. O Quadro 4 destaca as principais manifestações patológicas identificadas nas envoltórias das edificações inspecionadas.

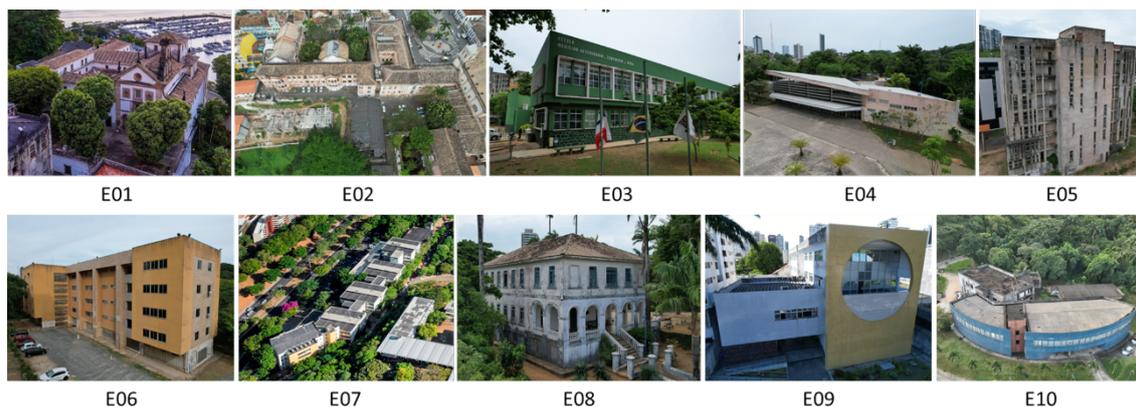


Figura 4. Edifícios inspecionados

Quadro 4. Levantamento das principais anomalias na envoltória

Ocorrência	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	Incidência
Fissuras em revestimentos	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	100%
Descascamento de revestimentos	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	100%
Desprendimento de revestimento				●	●	●	●	●	●	●	70%
Ausência de revestimentos (obras interrompidas)						●				●	20%
Exposição de armaduras estruturais							●			●	70%
Danos em esquadrias	●	●		●	●	●	●	●	●	●	90%
Trincas em contrapiso				●	●	●	●				40%
Telhas danificadas	●	●	●	●		●	●	●	●	●	90%
Ausência de telhas	●					●			●	●	40%
Instalações de climatização inadequadas			●	●	●	●	●	●	●	●	80%
Instalações hidráulicas inadequadas	●	●	●	●	●		●	●	●	●	90%
Instalações elétricas inadequadas	●		●	●			●	●	●	●	70%
Manchas ou acúmulo de sujidades	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	100%
Crescimento de vegetação	●	●	●	●	●		●	●	●	●	90%

A análise das imagens coletadas possibilitou a identificação de quatorze tipos de ocorrências nos sistemas que constituem as envoltórias. Com maior incidência, foram identificadas fissuras em fachadas e coberturas, descascamentos de pinturas e acúmulo de sujidades, sendo observadas em todos os edifícios inspecionados. Ainda com incidência expressiva, observou-se a proliferação de vegetação em coberturas e fachadas, o posicionamento inadequado de instalações elétricas, hidráulicas e de climatização, além de diversos danos em esquadrias e revestimentos.

O quadro observado retrata problemas ocasionados por duas principais vertentes: falhas ou ausência de manutenção, e falhas de uso das edificações. Problemas associados a desgastes acentuados dos componentes dos sistemas, bem como o acúmulo de sujidades sobre revestimentos ou coberturas, corroboram a hipótese de ausência de manutenções preventivas. A disposição de componentes elétricos e hidráulicos em desacordo com normas técnicas caracteriza a ausência de diretrizes para a realização de intervenções nos sistemas de envoltória, seja para manutenções, seja para a instalação de novos equipamentos. Os cenários observados remetem, assim, à necessidade de adoção de novas tecnologias para a gestão da informação, que possibilitem maior facilidade no acesso a

dados atualizados da edificação, permitindo a tomada de decisão de forma eficiente e facilitada.

Além desses resultados, o Quadro 5 apresenta as respostas do questionário aplicado com a equipe de GM da SM. Os resultados foram agrupados em quatro categorias que resume os principais problemas identificados por meio das respostas.

Quadro 5. Percepção dos respondentes sobre dificuldades no desempenho da GM

Opções	Votos	Respondentes (%)	Categorias
Falta de abordagem de manutenção preventiva	9	75%	Gestão e Planejamento de Processos
Falta de documentação “as built” das edificações	8	67%	
Falta de política de operação e manutenção	2	17%	
Ausência de protocolos de manutenção	3	33%	Recursos Humanos e Capacitação
Quantidade insuficiente de funcionários de operação e manutenção	6	50%	
Falta de equipe de operação e manutenção experiente e bem treinada	2	17%	Recursos Financeiros e Tecnológicos
Quantidade insuficiente de recursos financeiros para operação e manutenção	7	58%	
Escassez de adoção de tecnologias de informação e comunicação e softwares de manutenção	4	33%	
Falta de técnicas e ferramentas avançadas para detectar defeitos de edificações	2	17%	Operação e Infraestrutura
Falta de documentação “as built” das edificações	8	67%	
Falta de resposta rápida a um pedido de manutenção	5	42%	
Uso indevido de instalações pelos ocupantes	2	17	
Vida útil ultrapassada das edificações	2	17	
Mudança de governo	0	0%	

As respostas obtidas no questionário e os registros da reunião inicial revelaram que o maior impacto está relacionado à cultura institucional, destacando a ausência de manutenção preventiva como o problema mais recorrente. Esse problema está ligado à falta de mão de obra, recursos financeiros e documentação atualizada das edificações, o que impede os gestores de adotar uma abordagem preventiva. A ausência de consideração da manutenção na fase de projeto dos edifícios também reforça a hipótese de um problema cultural. Este trabalho propõe atender a essas necessidades, promovendo maior eficiência na gestão da manutenção por meio da coleta e gerenciamento de informações atualizadas das edificações, validando assim o uso das tecnologias propostas.

A análise das respostas discursivas dos gestores destacou cinco pontos centrais sobre os ativos visuais: (1) facilitar a avaliação das condições da edificação; (2) auxiliar na tomada de decisões; (3) promover a elaboração de processos e projetos; (4) facilitar a fiscalização dos serviços executados; e (5) atualizar as informações das edificações. Essas respostas confirmam a necessidade de ações que aumentem a eficiência dos processos em um contexto de baixa maturidade digital e restrições institucionais. O estudo exploratório confirmou a adequação dos métodos identificados na RSL às condições reais da IFES, evidenciando a carência de métodos aplicáveis em contextos com baixo nível de digitalização e a necessidade de ferramentas digitais de baixa complexidade como uma alternativa promissora.

A partir dos dados coletados e analisados, foi possível obter um diagnóstico preliminar do SM participante, que revelou quatro principais limitações, sendo: 1) falta de informação do estado atual da envoltória dos edifícios; 2) falta de processos padronizados e transparentes; 3) dificuldade de comunicação entre as partes interessadas; e 4) ausência de uma abordagem de manutenção preventiva.

ESQUEMA DA PROPOSTA PRELIMINAR DO MÉTODO

A Figura 5 apresenta uma proposta preliminar para apoiar o desenvolvimento do método a ser implementado e avaliado na empresa participante. Essa estrutura é composta por cinco etapas, desenvolvidas com base nos resultados do estudo exploratório sob a luz da RSL. A sugestão de um método integrando os processos de aquisição de dados, por meio de inspeções com drones, e o processamento dos dados coletados através de fotogrametria e representados em um modelo BIM possibilitaria à equipe de GM, além da geração de dados atualizados, uma análise qualitativa e quantitativa da envoltória dos edifícios. Por fim, a implementação dos produtos dessas atividades por meio de imagens, relatórios, mapas de danos e reuniões tornaria o processo de GM mais transparente e padronizado.

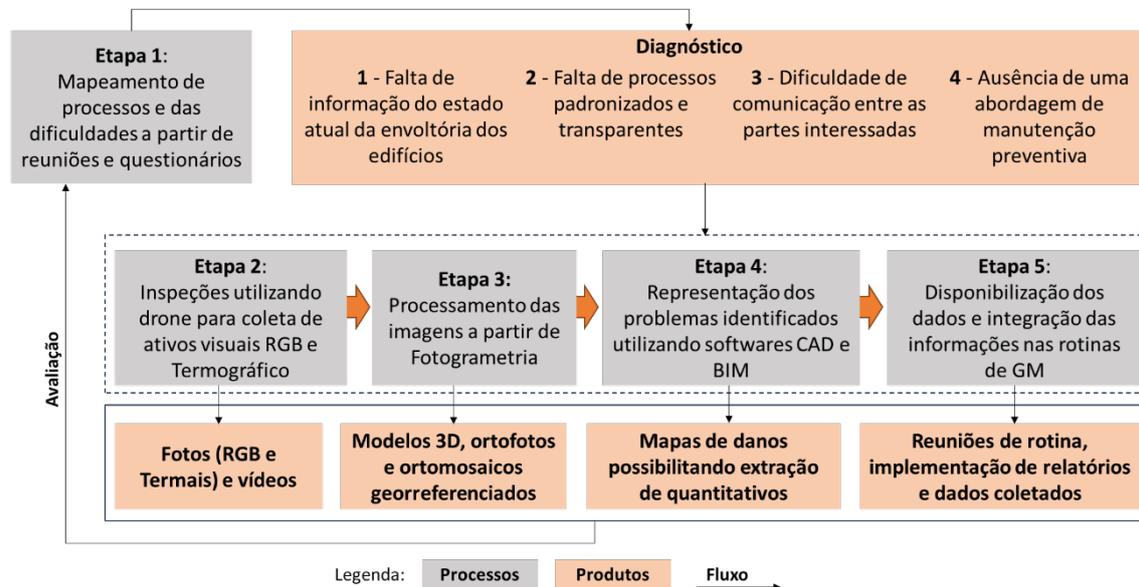


Figura 5. Esquema da estrutura do método

Além da implementação de um fluxo pré-estabelecido, foi proposto um fluxo de retroalimentação para avaliar a eficácia do método. O objetivo dessa avaliação é verificar se as informações geradas estão apoiando as tomadas de decisões em relação à GM e, caso surjam novas limitações, estas serão incorporadas ao método proposto. Dessa forma, essa estrutura proposta contempla, de maneira mais ampla, diretrizes para o desenvolvimento de cada uma das etapas, tornando o método replicável e fácil de ser utilizado. Assim, diferente dos estudos mapeados na literatura, como os de Ribeiro *et al.* (2020), Solla *et al.* (2020), Tan *et al.* (2022) e Rodrigues *et al.* (2023), que além de utilizarem tecnologias de alto custo, não contemplaram diretrizes para a implementação de seus métodos.

Além disso, a estrutura proposta foi concebida para facilitar a implementação, apresentando um fluxo claro entre processos, etapas e produtos, o que não foi observado

no método de Rodrigues *et al.* (2023). Em termos de produtos, o objetivo das reuniões para apresentação das situações constatadas, representadas por meio dos mapas de danos, é envolver toda a equipe de GM, buscando avaliar a clareza da representação das anomalias. A importância desse aspecto foi observada durante a análise do método proposto por Matos *et al.* (2023), cuja representação visual é limitada e pouco clara. Além disso, as reuniões de rotina para apresentar os resultados das inspeções fortalecem a adoção de práticas de manutenção preventiva, visto que os resultados podem ser úteis para manutenções corretivas e para a identificação de possíveis problemas futuros, promovendo práticas de prevenção.

CONCLUSÃO

Este estudo apresentou a proposição preliminar de um método para a facilitação de acesso à informação sobre a integridade das envoltórias das edificações, utilizando a integração de drones e BIM para apoio à gestão de manutenção (GM) em edificações públicas com baixa maturidade digital. Para fundamentar a proposta, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para identificar lacunas e direcionamentos, orientando a estruturação do método. Adicionalmente, foi conduzido um estudo exploratório em uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES), envolvendo inspeções em dez edificações para analisar as principais manifestações patológicas nas envoltórias dos edifícios. Um questionário aplicado à equipe de GM da IFES mapeou as principais dificuldades na gestão de manutenção, fornecendo subsídios para o desenvolvimento do método.

Os resultados da RSL relevaram como principal lacuna de conhecimento a carência de estudos aplicados em contextos de baixa maturidade digital, vista a grande adoção de ferramentas de captura de alto custo e complexidade nos trabalhos analisados. O estudo exploratório na IFES selecionada apresentou resultados convergentes aos achados da RSL, indicando problemas na gestão da manutenção relacionados à ausência de cultura preventiva e à escassez de mão de obra, em um cenário de pouca digitalização, tanto de ferramentas, quanto de processos. A adoção de métodos de baixa complexidade, com equipamentos de fácil aquisição e treinamento, foi vista como uma alternativa promissora.

Além disso, os principais problemas identificados durante as inspeções do estudo exploratório incluíram a ausência ou falha nas manutenções e a falta de diretrizes claras para intervenções. Durante a análise das imagens, observou-se o potencial dos drones para aquisição de dados, apresentando elevada eficiência nessa atividade. Em termos de limitações do estudo, considera-se que alguns estudos importantes podem ter sido excluídos da amostra durante a investigação do estado da arte. No estudo exploratório, condições de entorno, como copas de árvores e outros obstáculos, dificultaram a coleta de imagens. Além disso, a amostra de respondentes do questionário representou um pequeno percentual da SM participante, dificultando uma representação mais precisa das limitações encontradas.

Estudos futuros envolverão a implementação do método proposto em dois estudos de caso, além da avaliação e refinamento do método, visando apoiar o setor de gestão de manutenção (GM), melhorando a transparência das informações e processos e resultando em uma gestão de manutenção mais eficiente e rotineira.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as agências de fomento CAPES e CNPq e a equipe da Superintendência de Meio Ambiente e Infraestrutura da UFBA (SUMAI-UFBA).

REFERÊNCIAS

- Al-Yasiri, Q., & Szabó, M. (2021). Incorporation of phase change materials into building envelope for thermal comfort and energy saving: A comprehensive analysis. *Journal of Building engineering*, 36, 102122. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102122>.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2024). NBR 14037: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações — Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2024). NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1994). NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2024). NBR 5674: Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2024). NBR 16280: Reforma em edificações — Sistema de gestão de reformas — Requisitos.
- Au-Yong, C. P., Ali, A. S., & Chua, S. J. L. (2019). A literature review of routine maintenance in high-rise residential buildings: a theoretical framework and directions for future research. *Journal of Facilities Management*, 17(1), 2-17. <https://doi.org/10.1108/JFM-10-2017-0051>.
- Azevedo, M. M. (2022). Análise Comparativa da Manutenção de Edifícios Entre Portugal e Brasil.
- Bauer, E., Piazzarollo, C. B., de Souza, J. S., and dos Santos, D. G. 2020. “Relative importance of pathologies in the severity of facade degradation”. *J. Build. Rehabil.* 5, 7. <https://doi.org/10.1007/s41024-020-0072-6>.
- Chua, S. J. L., Zubbir, N. B., Ali, A. S., & Au-Yong, C. P. (2018). Maintenance of high-rise residential buildings. *International journal of building pathology and adaptation*, 36(2), 137-151. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-09-2017-0038>.
- CIBSE. (2014). *Maintenance Engineering and Management-A Guide for Designers Maintainers Building Owners and Operators and Facilities Managers-CIBSE Guide M*. CIBSE.
- Consilvio, A., Sanetti, P., Anguitta, D., Crovetto, C., Dambra, C., Oneto, L., ... & Sacco, N. (2019, June). Prescriptive maintenance of railway infrastructure: from data analytics to decision support. In *2019 6th International conference on models and technologies for intelligent transportation systems (MT-ITS)* (pp. 1-10). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MTITS.2019.8883331>.
- Da Fontoura, L. H. N., Santos, C. H. S., & de Oliveira, C. C. (2020). Manutenção de prédios públicos: uma questão de gestão. *REA-Revista Eletrônica de Administração*, 18(2), 322-346.
- Dresch, A., Lacerda, D. P., & Miguel, P. A. C. (2015). Uma análise distintiva entre o estudo de caso, a pesquisa-ação e a design science research. *Revista Brasileira de Gestão de Negócios*, 17(56), 1116-1133. <https://doi.org/10.7819/rbgn.v17i56.2069>.
- Errandonea, I., Beltrán, S., & Arrizabalaga, S. (2020). Digital Twin for maintenance: A literature review. *Computers in Industry*, 123, 103316. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103316>.

- Gan, L., Liu, H., Yan, Y., & Chen, A. (2024). Bridge bottom crack detection and modeling based on faster R-CNN and BIM. *IET Image Processing*, 18(3), 664-677. <https://doi.org/10.1049/ipr2.12976>.
- Gaspar, P. L., & de Brito, J. (2008). Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: A comparison between different degradation indicators. *Building and Environment*, 43(11), 1818-1828. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.10.022>.
- Hamdan, A. H., Taraben, J., Helmrich, M., Mansperger, T., Morgenthal, G., & Scherer, R. J. (2021). A semantic modeling approach for the automated detection and interpretation of structural damage. *Automation in Construction*, 128, 103739. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103739>.
- Hauashdh, A., Jailani, J., & Rahman, I. A. (2022). Strategic approaches towards achieving sustainable and effective building maintenance practices in maintenance-managed buildings: A combination of expert interviews and a literature review. *Journal of Building Engineering*, 45, 103490. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103490>.
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS quarterly*, 75-105. <https://doi.org/10.2307/25148625>.
- Islam, R., Nazifa, T. H., Mohammed, S. F., Zishan, M. A., Yusof, Z. M., & Mong, S. G. (2021). Impacts of design deficiencies on maintenance cost of high-rise residential buildings and mitigation measures. *Journal of Building Engineering*, 39, 102215. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102215>.
- Jofré-Briceño, C., Muñoz-La Rivera, F., Atencio, E., & Herrera, R. F. (2021). Implementation of facility management for port infrastructure through the use of UAVs, photogrammetry and BIM. *Sensors*, 21(19), 6686. <https://doi.org/10.3390/s21196686>.
- Kasanen, E., Lukka, K., & Siitonen, A. (1993). The constructive approach in management accounting research. *Journal of management accounting research*, 5.
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. Keele, UK, Keele University, 33(2004), 1-26.
- Madureira, S., Flores-Colen, I., de Brito, J., & Pereira, C. (2017). Maintenance planning of facades in current buildings. *Construction and building materials*, 147, 790-802. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.195>.
- Matos, R., Rodrigues, H., Costa, A., & Rodrigues, F. (2023). BIM-FM integrated solution resourcing to digital techniques. *Neural Computing and Applications*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s00521-023-08907-0>.
- Matyas, K., Nemeth, T., Kovacs, K., & Glawar, R. (2017). A procedural approach for realizing prescriptive maintenance planning in manufacturing industries. *CIRP Annals*, 66(1), 461-464. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.007>.
- Mirrahimi, S., Mohamed, M. F., Haw, L. C., Ibrahim, N. L. N., Yusoff, W. F. M., & Aflaki, A. (2016). The effect of building envelope on the thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot-humid climate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1508-1519. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.055>.
- Moreno, J. V., Machete, R., Falcão, A. P., Gonçalves, A. B., & Bento, R. (2022). Dynamic data feeding into BIM for facility management: A prototype application to a university building. *Buildings*, 12(5), 645. <https://doi.org/10.3390/buildings12050645>.
- Rajesh, P. K., Manikandan, N., Ramshankar, C. S., Vishwanathan, T., & Sathishkumar, C. (2019). Digital twin of an automotive brake pad for predictive maintenance. *Procedia Computer Science*, 165, 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.01.061>.
- Ribeiro, D., Santos, R., Shibasaki, A., Montenegro, P., Carvalho, H., & Calçada, R. (2020). Remote inspection of RC structures using unmanned aerial vehicles and heuristic image processing. *Engineering Failure Analysis*, 117, 104813. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104813>.
- Rodrigues, B. N., Favoreti, A. L. F., Borges, K., Gomes, P. H., Dionizio, R. F., Menzori, M., ... & Dezen-Kempton, E. (2023). Digital survey applied to the assessment of

- pathological manifestations in the architectural heritage of monte alegre in Piracicaba/SP. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 8(1), 60. <https://doi.org/10.1007/s41024-023-00306-1>.
- Salzano, A., Parisi, C. M., Acampa, G., & Nicolella, M. (2023). Existing assets maintenance management: Optimizing maintenance procedures and costs through BIM tools. *Automation in Construction*, 149, 104788. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104788>.
- Serrat, C., Banaszek, S., Cellmer, A., Gibert, V., & Banaszek, A. (2020). UAV, digital processing and vectorization techniques applied to building condition assessment and follow-up. *Tehnički glasnik*, 14(4), 507-513. <https://doi.org/10.31803/tg-20201110124401>.
- Shafiee, M. (2015). Maintenance strategy selection problem: an MCDM overview. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(4), 378-402. <https://doi.org/10.1108/JQME-09-2013-0063>.
- Silva, A. S. *et al.* (2024) Automated facade inspection: Application and challenge in using Artificial Intelligence for construction defect recognition. *In: XX International Conference on Building Pathology and Constructions Repair*, pp. xx-xx.
- Solla, M., Gonçalves, L. M., Gonçalves, G., Francisco, C., Puente, I., Providência, P., ... & Rodrigues, H. (2020). A building information modeling approach to integrate geomatic data for the documentation and preservation of cultural heritage. *Remote Sensing*, 12(24), 4028. <https://doi.org/10.3390/rs12244028>.
- Tan, Y., Li, G., Cai, R., Ma, J., & Wang, M. (2022). Mapping and modelling defect data from UAV captured images to BIM for building external wall inspection. *Automation in Construction*, 139, 104284. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104284>
- Tan, Y., Yi, W., Chen, P., & Zou, Y. (2024). An adaptive crack inspection method for building surface based on BIM, UAV and edge computing. *Automation in Construction*, 157, 105161. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105161>.
- TRIBUNAL, D. C. D. U. (2014). *Obras públicas: recomendações básicas para a contratação e fiscalização de obras de edificações públicas*. Brasília: TCU, SECOB.
- Xu, Y., & Turkan, Y. (2020). BrIM and UAS for bridge inspections and management. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(3), 785-807. <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2018-0556>.
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. *Automation in construction*, 38, 109-127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>.