UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

NAKITA NAIADES NASCIMENTO DE SOUZA

INTEGRAÇÃO BIM À GESTÃO DE INSTALAÇÕES EM UNIVERSIDADES PÚBLICAS: Uma Diretriz para Otimizar a Gestão da Informação

Recife
2025

NAKITA NAIADES NASCIMENTO DE SOUZA

INTEGRAÇÃO BIM À GESTÃO DE INSTALAÇÕES EM UNIVERSIDADES PÚBLICAS: Uma Diretriz para Otimizar a Gestão da Informação

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Área de concentração: Estruturas.

Orientador (a): Profa. Dra. Rachel Perez Palha

Recife

2025

. Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Souza, Nakita Naiades Nascimento de.
Integração BIM à gestão de instalações em universidades públicas: uma diretriz para otimizar a gestão da informação / Nakita Naiades Nascimento de Souza. - Recife, 2025.
146f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2025.
Orientação: Rachel Perez Palha.
Inclui referências e apêndices.

1. Modelagem da informação da construção (BIM); 2. Gestão predial; 3. Gestão da informação; 4. Universidades públicas; 5. Diretrizes BIM. I. Palha, Rachel Perez. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

NAKITA NAIADES NASCIMENTO DE SOUZA

INTEGRAÇÃO BIM À GESTÃO DE INSTALAÇÕES EM UNIVERSIDADES PÚBLICAS: Uma Diretriz para Otimizar a Gestão da Informação

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Estruturas.

Aprovada em: 25/02/2025.

BANCA EXAMINADORA

_____
Profa. Dra. Rachel Perez Palha (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Profa. Dra. Viviane Adriano Falcão
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Prof. Dr. Reuber Arrais Freire
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Profa. Dra. Michelle Carvalho Galvão da Silva Pinto Bandeira (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Goiás

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dá forças e resiliência ao longo desta jornada acadêmica. À minha mãe, que sempre acreditou no meu potencial e esteve ao meu lado nos momentos difíceis, meu profundo agradecimento e amor. Ao meu marido, por sua paciência, apoio e compreensão durante cada fase deste trabalho. À minha tia, pelo carinho e por toda ajuda para que eu pudesse me dedicar a esta etapa.

Um agradecimento especial aos profissionais de manutenção da UFPE, cuja contribuição foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa. Em especial, quero agradecer a Eduardo Bernardino, cuja ajuda foi essencial para viabilizar essa colaboração e enriquecer o trabalho.

Agradeço de coração aos meus amigos da UFPE, que tornaram esta jornada acadêmica mais leve e significativa. Em especial, agradeço à Fernanda e ao Juan, que me acompanharam desde a graduação, oferecendo apoio e amizade incondicionais. Também sou grata aos meus companheiros de mestrado: Evandro, Jéssica, Josivan e todos os outros que compartilharam essa caminhada comigo. Cada um de vocês contribuiu de maneira especial para a realização deste trabalho, e sou eternamente grata por suas palavras de incentivo e apoio constante.

Agradeço também à minha orientadora, Prof.ª Dra. Rachel Palha, pelo compromisso, orientação e estímulo constantes, que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Aos professores do programa do PPGEC- UFPE e à FACEPE pelo suporte acadêmico e financeiro, que foi fundamental para a realização desta pesquisa.

Finalmente, aos meus amigos e familiares que, direta ou indiretamente, sempre torceram por mim e apoiaram a realização deste sonho. A todos, minha mais sincera gratidão.

RESUMO

A integração da Modelagem da Informação da Construção (BIM) à Gestão das Instalações (*Facilities Management* - FM) em instituições de ensino superior públicas representa uma estratégia essencial para superar desafios como a fragmentação de dados, a falta de padronização e a baixa interoperabilidade entre sistemas. Este trabalho propõe uma diretriz estruturada e adaptável, composta por sete etapas, visando otimizar a gestão da informação, com foco especial em contextos de baixa maturidade BIM. Embora tenha sido desenvolvida com base na realidade da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), a diretriz apresenta potencial de aplicação em outras instituições com características similares.

A metodologia incluiu uma revisão de literatura, questionários e entrevistas com profissionais de manutenção da UFPE, revelando problemas como o uso limitado do Sistema Integrado de Patrimônio, Administração e Contratos (SIPAC) e a falta de integração com dados de manutenção. A diretriz aborda inovações como a padronização da catalogação de ativos, a integração de dados semânticos via APIs (como o IFC4.3), e o uso de padrões internacionais, como a ISO 19650. Além disso, sugere a centralização de dados em um ambiente comum e o uso de tecnologias emergentes, como blockchain, para garantir a segurança e integridade da informação.

A proposta também inclui a definição de Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs) para monitorar a eficiência das operações de manutenção e recomenda o treinamento contínuo das equipes para assegurar a sustentabilidade do processo. Embora a aplicação prática não tenha sido realizada, os resultados fornecem uma base sólida para implementações futuras e para a expansão do uso de tecnologias digitais. Conclui-se que a diretriz proposta tem o potencial de promover maior eficiência na gestão predial e modernizar os processos de manutenção em instituições de ensino superior públicas.

Palavras-chave: Modelagem da Informação da Construção (BIM), Gestão Predial, Gestão da Informação, Universidades Públicas, Diretrizes BIM.

ABSTRACT

The integration of Building Information Modeling (BIM) into Facilities Management (FM) in public higher education institutions represents a key strategy for overcoming challenges such as data fragmentation, lack of standardization, and low system interoperability. This research proposes a structured and adaptable guideline composed of seven steps aimed at optimizing information management, with a particular focus on context with low BIM maturity. Although developed based on the reality of the Federal University of Pernambuco (UFPE), the guideline demonstrates potential applicability in other institutions with similar characteristics.

The methodology included a literature review, questionnaires, and interviews with maintenance professionals at UFPE, revealing issues such as the limited use of the Integrated System of Assets, Administration, and Contracts (SIPAC) and the lack of integration with maintenance data. The guideline introduces innovations such as standardized asset cataloging, the integration of semantic data through APIs (such as IFC4.3), and the use of international standards, including ISO 19650. Additionally, it suggests the centralization of data within a common data environment and the adoption of emerging technologies, such as blockchain, to ensure data security and integrity.

The proposal also defines Key Performance Indicators (KPIs) to monitor the efficiency of maintenance operations and recommends continuous team training to ensure the sustainability of the process. Although the practical application has not yet been conducted, the results provide a solid foundation for future implementations and the expansion of digital technologies. The study concludes that the proposed guideline has the potential to enhance efficiency in facilities management and modernize maintenance processes in public higher education institutions.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), Facilities Management, Information Management, Public Universities, BIM Guidelines.

Lista de abreviaturas E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	American Institute of Architects / Instituto Americano de Arquitetos
AIR	*Asset Information Requirements* / Requisitos de Informação dos Ativos
API	Interface de Programação de Aplicações
BEP	*Building Execution Plan* / Plano de Execução BIM
BIM	*Building Information Modeling* / Modelagem da Informação da Construção
BIMForum	Fórum de Implementação do LOD e BIM nos Estados Unidos
CDE	*Common Data Environment* / Ambiente Comum de Dados
CMMS	Sistema Informatizado de Gerenciamento de Manutenção
COBie	*Construction Operations Building Information Exchange* / Troca de Informações para Operações e Construção
DLT	Distributed Ledger Technology / Tecnologia de Registro Distribuído
EIR	*Employer's Information Requirements* / Requisitos de Informação do Cliente
FM	*Facilities Management* / Gestão de Instalações
GDPR	*General Data Protection Regulation* / Regulamento Geral de Proteção de Dados
GIS	*Geographic Information Systems* / Sistemas de Informação Geográfica
HVAC	*Heating, Ventilation, and Air Conditioning* / Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado
IA	Inteligência Artificial
IFC	*Industry Foundation Classes* / Classes Fundamentais da Indústria
IoT	*Internet of Things* / Internet das Coisas
ISO	Organização Internacional de Padronização
KPI	Indicador-chave de Desempenho
LOD	*Level of Development* / Nível de Desenvolvimento
LOIN	*Level of Information Need* / Nível de Necessidade de Informação

MTBF	*Mean Time Between Failures* / Tempo Médio Entre Falhas
MTTR	*Mean Time to Repair* / Tempo Médio para Reparo
O&M	Operação e Manutenção
PIR	Project Information Requirements / Requisitos de Informação do Projeto
AR	Realidade Aumentada
RFID	Radio-Frequency Identification / Identificação por Rádio Frequência
RV	Realidade Virtual
SIPAC	Sistema Integrado de Patrimônio, Administração e Contratos
TCO	Total Cost of Ownership / Custo Total de Propriedade
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 34

1.1 Justificativa 35

1.1.1 Estrutura da Pesquisa 37

2 OBJETIVOS 38

2.1 Objetivo Geral 38

2.2 Objetivos Específicos 38

3 REFERENCIAL TEÓRICO 39

3.1 Building Information Modeling (BIM) 39

3.1.1 Usos do BIM 40

3.1.2 Níveis de Maturidade do BIM 42

3.1.3 *Level of Development* (LOD) – Nível de Desenvolvimento 45

3.1.4 Nível de Desenvolvimento vs. Nível de Detalhe 47

3.1.5 Nível de Necessidade de Informação (LOIN – *Level of Information Need)* 47

3.1.6 Interoperabilidade no Contexto do BIM 49

3.1.7 Modelagem Paramétrica no Contexto do BIM 50

3.1.8 Requisitos de Informação do Projeto 52

3.2 Gestão de Instalações - Facilities Management (FM) 53

3.2.1 Enquadramento geral e Definições da Gestão de Instalações (FM) 53

3.2.2 ISO 41001:2020 54

3.2.3 Normatização em Manutenção: Nacional e Internacional 55

3.2.4 Histórico do Gestão de Instalações (FM) 57

3.2.5 Tipos de Manutenção: Corretiva, Preventiva e Preditiva 59

3.2.6 Periodicidade de Manutenções 61

3.2.7 Indicadores de Desempenho (KPI) para a Manutenção 62

3.2.8 Vida Útil e Gestão de Ativos....64
3.3 Integração entre BIM e FM (BIM-FM)....66
3.3.1 O Decreto nº 10.306, de 2020....66
3.3.2 Benefícios da Integração do BIM com o FM....67
3.3.3 Desafios da Integração BIM-FM....69
3.3.4 A ISO 19650 e a Gestão da Informação no Ciclo de Vida da Edificação..70
3.4 Gestão da Informação no Contexto BIM-FM....71
3.4.1 A Importância da Gestão da Informação para Operação e manutenção (O&M)....72
3.4.2 Tecnologias Emergentes para a Gestão da Informação....72
3.5 Revisão Sistemática da Literatura....75
3.5.1 Metodologia da Revisão Sistemática....75
3.5.2 Resultados Quantitativos e Qualitativos da Revisão sistemática....78
3.5.2.1Resultados Quantitativos (Bibliometria)....78
3.5.2.2 Resultados Qualitativos (Grupos Temáticos)....81
4 METODOLOGIA....84
4.1 Estrutura da Metodologia....84
4.2 Estratégia De Pesquisa De Campo....85
4.3 Instrumentos Utilizados....86
4.3.1 Justificativa para as escolhas das perguntas....87
4.4.1 Procedimentos e Critérios....88
4.4.1.1 Procedimentos para o questionário....88
4.4.1.2 Procedimentos para as entrevistas....88
4.4.1.3 Critérios de inclusão e exclusão....89
4.4.1.4 Ética e anonimato....89
4.5 Análise de dados: Métodos aplicados....89
4.5.1 Análise quantitativa....90

4.5.2 Análise qualitativa 91

4.5.3 Integração dos resultados 91

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 93

5.1 Análise da situação atual da UFPE 93

5.1.1 Fragilidades na Gestão da Informação 94

5.2. Resultados do questionário e entrevistas 95

5.2.1 Resultados do questionário 96

5.2.2 Resultados das entrevistas 101

5.3. Comparação da Proposta de Implementação do BIM-FM com Foco na Gestão da Informação 104

5.3.1 Descrição da Diretriz BIM-FM com foco na gestão da informação 105

5.3.2 Principais Modificações e Justificativas 105

6 DIRETRIZ BIM-FM COM FOCO NA GESTÃO DA INFORMAÇÃO 108

6.1 Estabelecendo a base para a implementação do BIM-FM: Identificando os principais benefícios e justificativas estratégicas 110

6.2 Analisando os requisitos de dados para a equipe de Manutenção: Identificação e definição das principais necessidades 112

6.2.1Integração de Dados Estruturados e Não Estruturados 113

6.3 Convenções de catalogação e nomenclatura de ativos: Criação de um catálogo, registro e atualização de ativos 114

6.4 Integração de Informações Semânticas: Definindo os benefícios, métodos de incorporação e utilizando APIs para uma integração otimizada 116

6.5 Estabelecimento de Formatos de Dados e Documentos: Normas e diretrizes de dados, adaptação de formatos às necessidades do cliente garantindo a segurança, e integração com CMMS 119

6.6 Desenvolvendo Padrões BIM-FM: Adaptação de Normas Internacionais, Envolvimento dos *Stakeholders* e Promoção de Recursos e Treinamento 120

6. 7 Revisão e Atualização dos Sistemas BIM/Banco de Dados: Procedimentos e Responsabilidades, Critérios de Validação e Processos, e Definição da Frequência das Revisões 123

7 CONCLUSÃO 125

8 REFERÊNCIAS 127

APÊNDICE A – ARTIGOS INCLUÍDOS NA REVISÃO SISTEMÁTICA 147

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO APLICADO NA PESQUISA 161

APÊNDICE C – ROTEIRO DAS ENTREVISTAS SEMIESTRUTURADAS 164

1 INTRODUÇÃO

Com o prelúdio da modelagem digital, tornou-se possível representar as características físicas e funcionais de um edifício por meio do *Building Information Modeling* (BIM) (Niknam; Karshenas, 2017). Originalmente concebido para as fases de concepção e construção, o BIM consolidou-se como uma metodologia abrangente que integra informações ao longo de todo o ciclo de vida das edificações (Zhuang et al.,2021). Desde o conceito inicial, passando pela construção e operação, até a demolição, o BIM oferece uma abordagem que promove eficiência, reduz erros e melhora a comunicação entre os atores envolvidos no processo (Sacks et al.,2018a).

No contexto da Gestão de Instalações (*Facilities Management* - FM), o BIM emerge como uma solução estratégica para os desafios enfrentados na operação e manutenção de edificações (Kamal; Taghaddos; Karimi, 2021; Shalabi; Turkan, 2017; Yalcinkaya; Singh, 2019a). A integração do BIM com o FM, conhecida como BIM-FM, possibilita a centralização de informações, promovendo maior eficiência na gestão de ativos e na tomada de decisões (Alavi; Bortolini; Forcada, 2022). Essa integração permite a otimização de processos, como o planejamento de manutenções preventivas, a localização de sistemas e a atualização de dados (Farghaly et al., 2018). De forma complementar, o BIM-FM contribui para a redução de custos operacionais e o aumento da confiabilidade dos dados utilizados, especialmente durante a fase de operação e manutenção (O&M) (Chen; Tang, 2019). Países com alta maturidade tecnológica já utilizam padrões abertos, como *Industry Foundation Classes* (IFC) e *Construction Operations Building Information Exchange* (COBie), para assegurar a interoperabilidade e a eficiência na gestão da informação (Niknam; Karshenas, 2017; Oraskari et al., 2024).

Entretanto, no Brasil, a adoção do BIM ainda enfrenta barreiras significativas, especialmente no setor público (Viana; Carvalho, 2020). Universidades públicas brasileiras, como a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), possuem infraestruturas amplas e diversificadas, frequentemente dependem de sistemas fragmentados, ferramentas obsoletas e processos manuais. Esses fatores dificultam a integração e a interoperabilidade das informações, comprometendo a eficiência das atividades de operação e manutenção. A falta de padronização e de estratégias específicas para a implementação do BIM-FM nesse contexto acentua os desafios enfrentados, evidenciando a necessidade de diretrizes práticas que considerem as

restrições financeiras, tecnológicas e operacionais das universidades públicas brasileiras (Lucas et al., 2013a; Patacas et al., 2015).

Na literatura, foram identificadas lacunas significativas relacionadas à gestão da informação no contexto do BIM-FM (Matarneh et al., 2019b; Morais; Almeida Filho; Palha, 2024). Apesar de o BIM ser amplamente reconhecido como uma solução promissora para integrar dados ao longo do ciclo de vida das edificações, ainda há poucos estudos que exploram como a gestão eficaz da informação pode ser aplicada de maneira prática em contextos de baixa maturidade tecnológica (Merino et al., 2023; Quinn et al., 2020). Além disso, tecnologias emergentes, como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial e blockchain, apresentam grande potencial para transformar a gestão da informação em BIM-FM, mas permanecem explorados de forma insuficiente (Cocco; Tonelli; Marchesi, 2022; Li et al., 2024; Singh; Kumar, 2024).

Paralelamente, trabalhos que analisam a adoção do BIM no Brasil apontam desafios específicos enfrentados por instituições públicas, incluindo a falta de infraestrutura tecnológica, a ausência de interoperabilidade entre sistemas e a carência de recursos financeiros e humanos (Pinti; Codinhoto; Bonelli, 2022; Viana; Carvalho, 2020). Essas dificuldades reforçam a necessidade de adaptar práticas globais às realidades locais, propondo soluções que atendam às demandas específicas dessas instituições e promovam a modernização de suas práticas de gestão.

1.1 Justificativa

A gestão da informação desempenha um papel central para o sucesso de projetos relacionados ao ciclo de vida das edificações, especialmente na fase de operação e manutenção (Morais; Almeida Filho; Palha, 2024). No caso das universidades públicas, a fragmentação dos sistemas e a falta de interoperabilidade dificultam o acesso a informações precisas e confiáveis, comprometendo a eficiência das atividades de manutenção e operação (Barbosa et al., 2020; Böes; Barros Neto; Lima, 2021a; Thabet; Lucas, 2017a). A escolha deste tema justifica-se pela necessidade de modernizar os processos de gestão da informação nessas instituições, promovendo a integração de dados, a padronização de processos e a atualização contínua das informações (Bortoluzzi et al., 2019; Chen; Tsai, 2021; Lucas et al., 2013b; Ozturk, 2020).

A motivação para esta pesquisa surge da necessidade de responder os desafios enfrentados pelas universidades públicas, como a falta de infraestrutura tecnológica adequada e a fragmentação de dados entre diferentes sistemas(Araújo; Bastista; Araújo, 2022; Viana; Carvalho, 2020). Esses problemas prejudicam a eficiência nas atividades de manutenção e operação, o que demanda soluções adaptadas às realidades locais. Além disso, a ausência de diretrizes práticas específicas para a aplicação do BIM-FM em contextos de baixa maturidade tecnológica reforça a importância de uma proposta escalável e flexível. Este estudo busca preencher essa lacuna ao propor uma diretriz prática para melhorar o fluxo de informações e a gestão de ativos, considerando as restrições operacionais das universidades públicas.

A relevância deste trabalho também está diretamente conectada às políticas públicas brasileiras, como o Decreto nº 10.306/2020, que estabelece o uso obrigatório do BIM em contratos públicos de engenharia e arquitetura (Brasil, 2020) A implementação eficaz do decreto exige que as instituições públicas estejam preparadas para integrar o BIM não apenas na fase de projeto, mas ao longo de todo o ciclo de vida das edificações. Entretanto, a desconexão entre os requisitos estabelecidos pelo decreto e a realidade atual dessas instituições destaca a necessidade de uma diretriz prática, capaz de orientar a aplicação do BIM-FM em ambientes de baixa maturidade tecnológica.

Além de contribuir para a literatura acadêmica, este estudo visa oferecer uma solução aplicável e adaptável para apoiar a modernização das universidades públicas brasileiras. Espera-se que, por meio da proposta de diretrizes alinhadas às demandas locais e às referências internacionais, essas instituições possam otimizar a gestão de seus recursos, reduzir custos operacionais e promover a sustentabilidade em seus processos administrativos.

Nesse contexto, para orientar o desenvolvimento da proposta, este trabalho busca responder às seguintes perguntas de pesquisa:

1. Quais são as principais lacunas e desafios enfrentados pelas universidades públicas na gestão da informação durante as atividades de operação e manutenção?
2. Como as boas práticas e tecnologias emergentes podem ser integradas por meio de diretrizes adaptáveis para promover a interoperabilidade e a eficiência na gestão de ativos?

3. De que maneira a diretriz proposta pode ser escalável e replicável em diferentes instituições de baixa maturidade tecnológica, considerando as especificidades locais e institucionais?

As respostas a essas perguntas orientam a construção de uma diretriz prática e escalável para a integração do BIM-FM, com foco em otimizar a gestão da informação nas universidades públicas e contribuir para a modernização e eficiência administrativa.

1.1.1 Estrutura da Pesquisa

Esta dissertação está organizada em sete capítulos. O Capítulo 1 apresenta a Introdução, contextualizando o tema, o problema de pesquisa, a justificativa e a estrutura do trabalho. O Capítulo 2 define os objetivos geral e específicos que orientam a pesquisa. O Capítulo 3 traz o Referencial Teórico, abordando os conceitos fundamentais de BIM e Gestão das Instalações, os desafios de integração e as lacunas identificadas. O Capítulo 4 descreve a Metodologia adotada. O Capítulo 5 apresenta e discute os Resultados e Discussões, com destaque para os desafios e oportunidades identificados na gestão da informação em universidades públicas. O Capítulo 6 apresenta a Diretriz proposta, suas contribuições práticas e recomendações para futuras pesquisas. Finalmente, o Capítulo 7 apresenta as Conclusões do estudo, sintetizando os principais achados, discutindo as limitações e sugerindo recomendações para futuras pesquisas e melhorias na aplicação do BIM-FM.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este estudo propõe uma diretriz prática e escalável para a implementação do BIM na Gestão de Instalações (FM) em universidades públicas, com foco na gestão da informação. A diretriz visa integrar práticas de gestão de ativos e manutenção, promover a interoperabilidade entre sistemas e aprimorar a eficiência operacional.

2.2 Objetivos Específicos

a) Analisar as necessidades específicas da UFPE no âmbito da gestão de ativos e operações de manutenção, identificando os principais desafios operacionais, tecnológicos e organizacionais enfrentados pela instituição.

b) Revisar a literatura científica e técnica sobre BIM e FM, com o intuito de identificar boas práticas e diretrizes relevantes para a integração de tecnologias no contexto das universidades públicas brasileiras.

c) Estruturar diretrizes baseadas em etapas acionáveis, que promovam a centralização e padronização de dados, a otimização da gestão de ativos e a interoperabilidade entre sistemas, considerando as limitações e as possibilidades das instituições de baixa maturidade tecnológica.

d) Explorar o potencial de integração de ferramentas tecnológicas, como APIs baseadas em padrões abertos (por exemplo: IFC4.3), para facilitar o fluxo de informações e a comunicação entre as equipes de manutenção e gestão de ativos.

e) Discutir as implicações práticas das diretrizes propostas, com ênfase na importância de capacitações, governança de dados e no uso de tecnologias emergentes, como blockchain, para assegurar a segurança e integridade da informação.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Building Information Modeling (BIM)

O *Building Information Modeling* (BIM), amplamente reconhecido como uma abordagem inovadora para o gerenciamento de informações na construção civil, tem sido considerado uma mudança de paradigma no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) e na gestão de instalações (FM) (Viana; Carvalho, 2020). O BIM pode ser definido como um processo colaborativo que utiliza modelos digitais para representar as características físicas e funcionais de uma edificação ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a concepção até a demolição (Sacks et al., 2018a, 2018b).

Diferentemente dos métodos tradicionais de projeto e construção, o BIM centraliza todas as informações relacionadas ao edifício em um modelo digital integrado, permitindo que diferentes partes interessadas, como arquitetos, engenheiros e gestores de manutenção, colaborem de maneira mais eficiente (Hallberg; Tarandi, 2011). Essa centralização é fundamental para evitar inconsistências e perdas de informações, um problema recorrente em processos fragmentados (Niknam; Karshenas, 2017).

No âmbito prático, o BIM oferece diversos níveis de detalhamento e funcionalidades, variando de acordo com o estágio do ciclo de vida do projeto (Jaiswal et al., 2022). Durante as fases iniciais de design e construção, o BIM permite simulações visuais, análises de desempenho e detecção de interferências *(Sacks et al., 2018a)*. À medida que o projeto avança para a fase de operação e manutenção, ele se torna um repositório central de dados atualizados, facilitando a localização de informações sobre sistemas e ativos e otimizando a manutenção preventiva (Motamedi; Hammad; Asen, 2014).

Além disso, o BIM apoia diretamente a tomada de decisões estratégicas, uma vez que fornece informações precisas e em tempo real sobre a edificação (Kassem et al., 2015). Essa capacidade é particularmente importante para grandes instituições, como universidades públicas, que gerenciam extensas infraestruturas e frequentemente enfrentam dificuldades na obtenção de dados confiáveis para planejar atividades de manutenção (Farghaly et al., 2018).

A interoperabilidade é outro aspecto central do conceito de BIM. O uso de padrões abertos, como *Industry Foundation Classes* (IFC) e *Construction-Operations*

Building Information Exchange (COBie), é essencial para garantir que os dados possam ser compartilhados entre diferentes softwares e plataformas sem perda de informações (Sacks et al., 2018a).

Em resumo, o BIM transcende a mera representação gráfica de projetos, tornando-se uma ferramenta estratégica para o gerenciamento da informação ao longo de todo o ciclo de vida da edificação. Sua aplicação em projetos públicos, como os realizados em universidades, é promissora, mas requer uma abordagem estruturada para enfrentar os desafios de interoperabilidade e integração tecnológica.

3.1.1 Usos do BIM

O BIM oferece diversas dimensões de aplicação ao longo do ciclo de vida das edificações, que evoluíram com o tempo para atender a diferentes demandas, conforme Figura 1 desde o projeto até a operação de edifícios inteligentes. Inicialmente restrito às dimensões 3D, 4D e 5D, o conceito foi expandido para incluir sustentabilidade, segurança no trabalho e tecnologias emergentes, como Internet das Coisas (IoT) (Jaiswal et al., 2022; Kreider; Messner, 2013; Volk; Stengel; Schultmann, 2014).

Figura 1 – Dimensões do BIM (3D a 10D).

Fonte: Adaptado de Sacks et al. (2018a); Volk, Stengel e Schultmann (2014); Xu (2017); Carrasco *et al*. (2023); Nicał e Wodyński (2016); Araruna (2024); Cantisani *et al*. (2022); Ismail *et al*. (2023); Mcarthur (2015); Miara (2020); Seixas *et al*. (2022); Jaiswal *et al*. (2022); Piaseckienė (2022).

- **3D BIM (Modelagem):** A dimensão fundamental do BIM envolve a criação de modelos tridimensionais detalhados, representando geometrias, elementos arquitetônicos e componentes estruturais. Essa base tridimensional é essencial para todas as outras dimensões subsequentes (Sacks et al., 2018a).
- **4D BIM (Cronograma):** Integra o modelo 3D ao cronograma da obra, permitindo a simulação do progresso da construção e o monitoramento em tempo real. Com isso, é possível identificar atrasos potenciais e propor ajustes antes que se tornem problemas críticos (Volk; Stengel; Schultmann, 2014).
- **5D BIM (Custos):** Relaciona os componentes do modelo com estimativas de custos, garantindo maior precisão nas decisões financeiras e facilitando a elaboração de orçamentos dinâmicos que se ajustam às mudanças de projeto (Sacks et al., 2018a; Xu, 2017)
- **6D BIM (Manutenção):** Focado na operação e manutenção das edificações, o 6D BIM armazena informações sobre ativos e sistemas, como climatização, elétrica e hidráulica. Isso facilita a manutenção preditiva, otimizando o uso de recursos e prolongando a vida útil dos ativos (Carrasco et al., 2023; Nicał; Wodyński, 2016). Esse uso é especialmente importante no contexto de universidades públicas, como destacado por Araruna, (2024), que enfatiza a importância de informações centralizadas para gerenciar infraestruturas complexas.
- **7D BIM (Sustentabilidade):** Analisa o desempenho ambiental da edificação, considerando consumo energético, emissões de carbono e eficiência dos materiais. Essa dimensão apoia o planejamento de edificações sustentáveis e a tomada de decisões estratégicas focadas na sustentabilidade (Cantisani et al., 2022; Ismail et al., 2023; Mcarthur, 2015).
- **8D BIM (Segurança no Trabalho):** Introduz análises de riscos de segurança e saúde ocupacional, integrando informações para prevenir acidentes no ambiente de trabalho, especialmente durante a execução da obra (Miara, 2020; Seixas et al., 2022).
- **9D BIM (Eficiência na Construção):** Relacionado à otimização da produtividade na construção, o 9D BIM utiliza dados operacionais para propor melhorias contínuas no processo construtivo, reduzindo desperdícios e promovendo a eficiência (Jaiswal et al., 2022; Sacks et al., 2018a).

- **10D BIM (Edificações Inteligentes):** A dimensão mais recente está relacionada à integração do BIM com tecnologias IoT e sistemas de automação, permitindo o gerenciamento em tempo real das edificações inteligentes. Isso inclui o monitoramento remoto de equipamentos e a adaptação dinâmica de sistemas, como iluminação e climatização, conforme as condições do ambiente (Piaseckienė, 2022).

A expansão dessas dimensões demonstra como o BIM evoluiu de uma ferramenta puramente gráfica para uma plataforma abrangente de gestão de informações ao longo do ciclo de vida da edificação. No entanto, a correta aplicação dessas dimensões requer um grau adequado de maturidade organizacional e interoperabilidade entre os sistemas envolvidos, temas que serão abordados nos próximos tópicos.

3.1.2 Níveis de Maturidade do BIM

Os níveis de maturidade do BIM são utilizados para medir o grau de avanço e colaboração digital em projetos de construção e operação. Eles permitem que organizações identifiquem seu estágio atual na adoção do BIM e estabeleçam planos de evolução tecnológica. Compreender esses níveis é fundamental, especialmente em projetos complexos, onde a integração de informações entre diferentes disciplinas é essencial para garantir o sucesso da obra (Bew; Richards, 2008; Succar, 2010).

A classificação de Bew; Richards, (2008) define quatro níveis principais de maturidade que são representados na Figura 2:

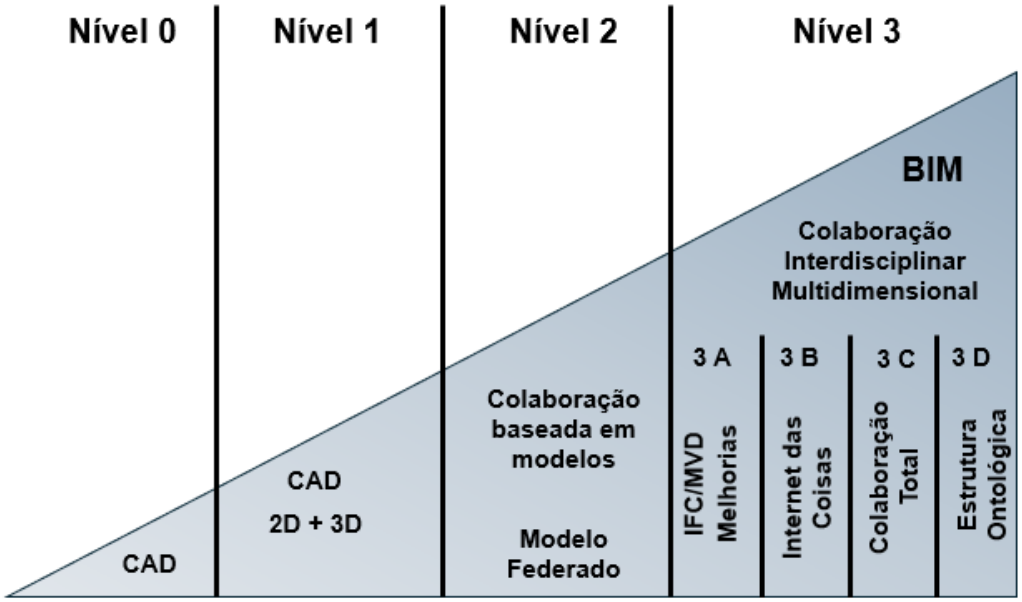

Figura 2 – Níveis de Maturidade BIM segundo BEW e RICHARDS (2008)

Fonte: Adaptado de Bew; Richards (2008).

O Nível 0 é caracterizado pela ausência de colaboração digital. Nesse estágio, os projetos são desenvolvidos com base em desenhos técnicos em 2D e documentos físicos. Não há integração entre equipes, o que resulta em dados fragmentados e alta ocorrência de erros e retrabalhos. As comunicações acontecem principalmente por e-mail e documentos impressos, e os processos de coordenação são feitos manualmente.

O Nível 1 marca o início da transição para o ambiente digital, mas de forma ainda limitada. As organizações começam a utilizar ferramentas de modelagem 3D para algumas etapas, mas as informações são compartilhadas de forma não estruturada, por meio de documentos locais e trocas informais. Embora o uso do CAD 3D seja um avanço, a falta de padronização e de um ambiente centralizado limita a colaboração plena entre as equipes.

O Nível 2 representa um marco significativo na adoção do BIM, pois envolve a colaboração interdisciplinar. Nesse nível, diferentes disciplinas, como arquitetura, engenharia e instalações, trabalham de forma integrada por meio de modelos digitais. A interoperabilidade parcial é garantida pelo uso de padrões abertos, como o IFC e o COBie, que facilitam a troca de informações entre os participantes do projeto. Esse nível também é marcado pela detecção precoce de conflitos e pela otimização de

prazos e orçamentos, uma vez que as informações estão mais acessíveis e organizadas.

O Nível 3 é o estágio mais avançado, conhecido como colaboração plena ou BIM integrado. Nesse nível, todas as informações do projeto são centralizadas em um Ambiente Comum de Dados (*Common Data Environment* – CDE), onde as partes interessadas podem acessar e atualizar informações em tempo real. A interoperabilidade completa é alcançada, e os processos de análise e monitoramento de dados são automatizados. Isso permite a otimização dos fluxos de trabalho e uma redução significativa dos custos operacionais durante o ciclo de vida da edificação.

Além da classificação de Bew e Richards, a Matriz de Maturidade BIM proposta por Succar, (2010) oferece uma visão complementar, estruturando a maturidade do BIM em três dimensões principais, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Matriz de Maturidade BIM segundo SUCCAR (2010).

Fonte: Adaptado de Succar (2010).

A primeira é a capacidade organizacional, que avalia o preparo da organização para implementar o BIM, considerando suas políticas internas, cultura organizacional e recursos humanos. Nesse sentido, o sucesso da implementação não depende apenas da tecnologia, mas da adoção de novos processos e da formação contínua das equipes.

A segunda dimensão é a dos sistemas e tecnologias, que envolve a infraestrutura digital e a interoperabilidade entre diferentes plataformas e softwares. O uso de padrões abertos, como o IFC e o COBie, é essencial para garantir a troca eficiente de informações sem a necessidade de conversões manuais. A implementação de um ambiente comum de dados (CDE) também é fundamental para garantir a continuidade e a integridade das informações ao longo do ciclo de vida do projeto.

A terceira dimensão refere-se aos resultados de desempenho, que avaliam os benefícios tangíveis e intangíveis da adoção do BIM. Isso inclui a redução de prazos e custos, a melhoria na qualidade das entregas e a otimização dos processos de operação e manutenção. Segundo Kassem *et al.* (2015), o sucesso na obtenção de resultados depende da coleta, armazenamento e atualização contínua das informações do projeto, garantindo que estejam acessíveis a todas as partes interessadas de forma confiável.

A formalização desses conceitos é abordada pela norma *International Organization for Standardization* (ISO) 19650, que estabelece diretrizes claras para o gerenciamento de informações em projetos colaborativos. A norma destaca a importância da criação de ambientes de dados integrados e padronizados, que garantam a interoperabilidade entre os diversos participantes do projeto ao longo do ciclo de vida da edificação (International Organization For Standardization (ISO), 2018). Embora a adoção da norma dependa do nível de maturidade tecnológica de cada organização, ela serve como uma referência fundamental para padronizar processos e promover a colaboração.

Compreender os níveis de maturidade do BIM e as dimensões da matriz de Succar (2010) é fundamental para a aplicação do *Level of Development* (Nível de Desenvolvimento - LOD), que define o nível de detalhamento necessário das informações em cada etapa do ciclo de vida do projeto. Quando associado aos níveis de maturidade, o LOD garante a entrega eficiente de informações adequadas às necessidades específicas de cada fase.

3.1.3 *Level of Development* (LOD) – Nível de Desenvolvimento

O “*Level of Development*” ou Nível de Desenvolvimento (LOD) é um conceito essencial no contexto do BIM, pois determina o nível de detalhamento e a confiabilidade das informações de um modelo ao longo de todo o ciclo de vida de um projeto. A aplicação correta do LOD permite a coordenação eficiente entre as disciplinas envolvidas, a redução de conflitos e retrabalhos, além de assegurar que cada parte envolvida compreenda claramente as informações exigidas em cada fase do projeto (American Institute of Architects [AIA], 2013; BIMForum, 2022).

Inicialmente introduzido pelo *American Institute of Architects* (AIA) no documento AIA G202-2013, o conceito foi expandido pelo BIMForum, que detalhou

suas especificações para aplicação prática na indústria da construção. O LOD descreve a progressão dos elementos do modelo BIM em termos de sua geometria, informações associadas e nível de confiabilidade. Em um projeto típico, os elementos de um modelo começam como representações genéricas e evoluem gradualmente para modelos altamente detalhados, que servem de base para a fabricação, instalação e operação dos sistemas (BIMForum, 2022; Sacks et al., 2018a).

De acordo com o AIA, o LOD 100 refere-se a representações conceituais aproximadas, geralmente usadas para estudos de viabilidade e planejamento inicial. O LOD 200 apresenta informações geométricas básicas e localizações aproximadas, sendo utilizado em fases preliminares de projeto. No LOD 300, os elementos são detalhados o suficiente para permitir a criação de documentação técnica precisa, incluindo plantas e especificações construtivas. O LOD 350 adiciona informações relacionadas às interfaces e conexões entre os diferentes sistemas e disciplinas, garantindo a coordenação e detecção de conflitos potenciais. O LOD 400 representa o nível necessário para a fabricação e montagem, contendo informações detalhadas sobre materiais, métodos de construção e cronogramas de instalação. Por fim, o LOD 500 documenta o edifício "como construído" (*as-built*), fornecendo uma base confiável de dados para as fases de operação e manutenção (AIA, 2013).

A aplicação do LOD traz diversos benefícios para o processo de projeto e construção. Entre eles, destaca-se a comunicação clara entre as partes interessadas, a precisão nas estimativas de custos e prazos, e a minimização de erros de projeto. Isso permite transições mais suaves entre as fases do projeto e, posteriormente, para a operação da edificação. Essa progressão estruturada de informações também contribui para a integração entre o LOD e o *Level of Information Need* (LOIN), introduzido pela ISO 19650-1:2018. O LOIN complementa o LOD ao especificar quais informações devem estar presentes no modelo, evitando o excesso de dados e garantindo que as informações certas sejam entregues no momento apropriado (ISO, 2018; Succar, 2010).

Além disso, o LOD se relaciona diretamente aos níveis de maturidade BIM, pois modelos em estágios mais avançados de desenvolvimento exigem níveis de detalhamento mais elevados para suportar os requisitos de coordenação e execução (SUCCAR, 2010). Assim, o LOD não só estabelece uma base clara para a modelagem colaborativa, mas também oferece um framework consistente para a entrega de informações confiáveis ao longo do ciclo de vida da edificação.

3.1.4 Nível de Desenvolvimento vs. Nível de Detalhe

No contexto do BIM, os termos Nível de Desenvolvimento (LOD) e Nível de Detalhe são frequentemente confundidos, mas apresentam diferenças conceituais importantes. O LOD refere-se ao grau de confiabilidade das informações associadas a cada elemento do modelo, abrangendo tanto a representação geométrica quanto os dados não gráficos, enquanto o Nível de Detalhe está relacionado à precisão visual e à complexidade geométrica do objeto (AIA, 2013; BIMForum, 2022).

De acordo com o BIMForum (2022), um elemento pode ser representado com alto nível de detalhe geométrico, mas sem conter as informações necessárias para a execução da obra ou a manutenção do ativo. Por exemplo, um pilar modelado com precisão geométrica pode não incluir dados importantes, como tipo de concreto ou reforços estruturais. Isso demonstra a importância de se definir o LOD de forma clara, garantindo que o modelo seja útil para a coordenação, execução e operação (Sacks et al., 2018a).

O ISO 19650-1:2018 introduz o conceito de *Level of Information Need* (LOIN), que complementa o LOD ao especificar as informações necessárias para cada etapa, evitando sobrecargas de dados e garantindo a entrega eficiente das informações (ISO, 2018). Dessa forma, a diferença entre o nível de desenvolvimento e o nível de detalhe é fundamental para assegurar que os modelos não sejam sobrecarregados com informações desnecessárias, mas que contenham os dados certos no momento certo.

Compreender essas diferenças é essencial para garantir uma boa gestão das informações do projeto, facilitando a interoperabilidade entre diferentes disciplinas e promovendo a entrega eficiente das informações ao longo do ciclo de vida da edificação.

3.1.5 Nível de Necessidade de Informação (LOIN – *Level of Information Need)*

O Nível de Necessidade de Informação (LOIN – *Level of Information Need*), introduzido pela ISO 19650-1:2018, estabelece critérios claros para determinar o tipo, a quantidade e a qualidade de informações necessárias ao longo do ciclo de vida de um projeto BIM. Diferentemente do LOD, que foca no progresso e na maturidade do modelo, o LOIN se preocupa em definir quais informações devem ser entregues e em

qual momento, assegurando a otimização dos dados e evitando a sobrecarga de informações irrelevantes (ISO, 2018).

O LOIN está estruturado em três componentes principais que interagem de forma integrada: o nível de detalhamento gráfico (geométrico), as informações alfanuméricas (não gráficas) e a documentação associada. O componente geométrico refere-se ao nível de precisão gráfica exigido para cada elemento do modelo em uma fase específica do projeto, enquanto as informações alfanuméricas complementam essa representação visual com dados técnicos e descritivos, como materiais, custos e especificações de desempenho. A documentação associada inclui manuais, relatórios e outros documentos auxiliares essenciais para a execução e operação do projeto(ISO, 2018).

Essa abordagem integrada permite que o modelo seja adaptado às necessidades específicas de cada etapa do projeto. Por exemplo, durante a fase inicial de concepção, o LOIN pode exigir apenas informações básicas, como dimensões gerais e localização de sistemas, enquanto na fase de construção, são necessárias informações detalhadas sobre materiais, especificações de montagem e documentos técnicos. Na fase de operação, o foco é fornecer informações confiáveis e atualizadas para a manutenção dos sistemas e ativos (BIMForum, 2022; Sacks et al., 2018a).

O principal benefício do LOIN está na entrega eficiente de informações adequadas à fase do projeto e aos stakeholders envolvidos, garantindo que o modelo BIM não seja sobrecarregado por dados irrelevantes. Isso resulta em maior eficiência na modelagem, melhor coordenação entre disciplinas e uma transição mais fluida para a operação e manutenção do edifício (ISO, 2018). A definição clara dos dados necessários em cada etapa minimiza inconsistências e conflitos, além de proporcionar uma base sólida para a interoperabilidade entre diferentes sistemas e softwares (Sacks et al., 2018a).

O LOIN complementa o LOD ao especificar com precisão as informações necessárias para alcançar os objetivos de cada fase, enquanto o LOD define o grau de desenvolvimento do modelo. Essa combinação contribui diretamente para o sucesso de projetos complexos, especialmente aqueles que exigem altos níveis de coordenação entre diferentes equipes e disciplinas (Succar, 2010). Assim, a implementação correta do LOIN não apenas assegura uma entrega otimizada de

dados, mas também promove uma gestão eficiente da informação ao longo do ciclo de vida da edificação, desde o planejamento inicial até a operação.

3.1.6 Interoperabilidade no Contexto do BIM

A interoperabilidade no BIM refere-se à capacidade de diferentes sistemas, ferramentas e equipes trabalharem de forma colaborativa, trocando informações sem perda de dados e garantindo a integridade das informações ao longo do ciclo de vida do projeto. Esse conceito é considerado um dos pilares fundamentais para o sucesso do BIM, uma vez que envolve a comunicação eficaz entre softwares e a integração dos dados necessários para cada etapa do projeto, desde o planejamento até a operação e manutenção (Ozturk, 2020; Sacks et al., 2018a).

A interoperabilidade é frequentemente associada ao uso de padrões abertos, como o *Industry Foundation Classes* (IFC – Classes Fundamentais da Indústria), que fornece uma estrutura comum para a representação e o intercâmbio de dados em projetos de construção (Liu et al., 2024; Shalabi; Turkan, 2017). O IFC foi desenvolvido pela organização BuildingSMART e é amplamente reconhecido como um padrão essencial para promover a interoperabilidade em projetos complexos, permitindo que diferentes softwares possam compartilhar e interpretar dados de forma (BUILDINGSMART INTERNATIONAL,2024).

O COBie (*Construction Operations Building Information Exchang* - Troca de Informações de Construção e Operações) também desempenha um papel importante na interoperabilidade (Lavy; Saxena; Dixit, 2019; Yalcinkaya; Singh, 2019b). Enquanto o IFC foca na representação e troca de dados geométricos e não geométricos, o COBie organiza informações relacionadas à operação e manutenção do edifício, como dados de equipamentos e cronogramas de manutenção. O uso conjunto desses dois padrões pode melhorar significativamente a transição entre as fases de projeto, construção e operação (Sacks et al., 2018a).

Embora o desenvolvimento de padrões abertos tenha avançado, a interoperabilidade ainda enfrenta desafios técnicos e organizacionais. Um dos principais problemas é a falta de uma implementação consistente dos padrões entre os diferentes softwares utilizados no setor da construção (Palha; Hüttl; Da Costa e Silva, 2024). Além disso, questões de compatibilidade podem surgir, mesmo quando o IFC é adotado, resultando em perda parcial de informações durante a transferência

de dados (Jang; Collinge, 2020). Do ponto de vista organizacional, a falta de uma definição clara de papéis e responsabilidades também pode comprometer a troca eficiente de informações (Abdirad; Dossick, 2020).

A aplicação eficaz da interoperabilidade traz benefícios importantes para o setor da construção. Entre os principais estão a redução de retrabalhos e inconsistências, a melhora na produtividade das equipes e a otimização da tomada de decisões com base em dados confiáveis (Alavi; Bortolini; Forcada, 2022) . Quando as informações são compartilhadas corretamente entre diferentes sistemas, é possível garantir que os dados necessários para a operação e manutenção estejam disponíveis, melhorando a gestão do ativo ao longo de sua vida útil.

O próximo tópico abordará como a modelagem paramétrica pode contribuir para a automação e customização das informações dentro do BIM, otimizando ainda mais os processos colaborativos promovidos pela interoperabilidade.

3.1.7 Modelagem Paramétrica no Contexto do BIM

A modelagem paramétrica é um dos principais diferenciais do BIM, permitindo a criação de objetos inteligentes cujas propriedades e comportamentos são definidos por parâmetros ajustáveis. Esse recurso não apenas aumenta a flexibilidade no processo de modelagem, mas também promove a automação de tarefas repetitivas e a geração de alternativas de projeto de forma rápida e eficiente (Lee; Eastman; Solihin, 2018a; Sacks et al., 2018a). Diferente dos métodos tradicionais de representação geométrica, a modelagem paramétrica integra dados geométricos e não geométricos, facilitando a conexão entre o projeto, a construção e a operação do edifício *(Wang et al., 2021)*.

O conceito central da modelagem paramétrica é a utilização de parâmetros e restrições para definir elementos construtivos (Sacks et al., 2018a). Além disso, essa abordagem permite a definição de relações entre os elementos do modelo, como a vinculação entre uma laje e as paredes adjacentes, de forma que qualquer modificação em um elemento se reflita automaticamente nos demais (Lee; Eastman; Solihin, 2018a). Esse aspecto dinâmico contribui para a redução de erros, o aumento da precisão do projeto e a otimização do processo construtivo.

A modelagem paramétrica também facilita a integração de informações de diferentes disciplinas, como arquitetura, engenharia estrutural e sistemas prediais

(Wang et al., 2021). Por meio dessa integração, é possível realizar análises de desempenho, simulações e verificações automáticas de conformidade ao longo do ciclo de vida do projeto. Estudos apontam que a automação proporcionada pela modelagem paramétrica tem sido fundamental para a otimização de projetos complexos, especialmente em infraestruturas de grande porte, como aeroportos e hospitais (Pektas, 2023; Söderlund et al., 2024).

A aplicação da modelagem paramétrica é reforçada pelo uso de bibliotecas de objetos inteligentes e *templates* de projeto. Essas bibliotecas contêm componentes paramétricos previamente configurados, como portas, janelas e componentes estruturais, que podem ser reutilizados em diferentes projetos, garantindo a padronização e a consistência das informações (Dimara et al., 2023). Além disso, a adoção de padrões abertos, como o IFC, facilita a interoperabilidade entre diferentes plataformas de software, promovendo a troca eficiente de informações (BUILDINGSMART INTERNATIONAL, 2024)

Embora os benefícios da modelagem paramétrica sejam amplamente reconhecidos, sua implementação enfrenta alguns desafios. Entre os principais estão a necessidade de maior capacitação técnica das equipes, a criação de bibliotecas específicas e o gerenciamento eficaz dos dados paramétricos para evitar sobrecarga de informações no modelo (Lee; Eastman; Solihin, 2018a; Söderlund et al., 2024). Para mitigar esses desafios, muitas organizações estão investindo na padronização de processos e no desenvolvimento de guias específicos para a modelagem paramétrica (Pektas, 2023).

A modelagem paramétrica também está diretamente relacionada à automação da construção, conhecida como Design Generativo ou Design Automatizado, em que algoritmos computacionais são utilizados para gerar soluções otimizadas com base em restrições e parâmetros previamente definidos. Essa abordagem permite a análise rápida de múltiplas alternativas e a escolha da opção mais eficiente em termos de custo, desempenho e sustentabilidade (Lee; Eastman; Solihin, 2018a).

Com a evolução do BIM e das tecnologias associadas, a modelagem paramétrica continua a desempenhar um papel central na transformação digital da construção, promovendo maior eficiência, colaboração e precisão. A próxima seção abordará como os requisitos de informação do projeto influenciam a entrega e a integração eficaz das informações ao longo do ciclo de vida da edificação.

3.1.8 Requisitos de Informação do Projeto

Os Requisitos de Informação do Projeto (*Project Information Requirements* - PIR) são essenciais para garantir a entrega de dados relevantes e adequados às diferentes fases de um projeto BIM (Lee; Eastman; Solihin, 2018a). Esses requisitos orientam a coleta, organização e disponibilização de informações necessárias ao longo do ciclo de vida do projeto, desde a concepção até a operação e manutenção (Wijekoon; Manewa; Ross, 2020). Definir corretamente os dados esperados evita a sobrecarga de informações, retrabalhos e inconsistências, além de otimizar os processos colaborativos entre os envolvidos no projeto (ISO, 2018; Matarneh et al., 2019a).

Os Requisitos de Informação do Projeto são amplamente discutidos no contexto do plano de execução BIM (BEP), que detalha como as informações serão geradas, compartilhadas e entregues ao longo do ciclo de vida do projeto (Patacas et al., 2015). No centro dessa discussão estão os Requisitos de Informação do Cliente (EIR – *Employer's Information Requirements*) e os Requisitos de Informação do Ativo (AIR – *Asset Information Requirements*)(Salzano et al., 2023). Os EIR definem as expectativas e necessidades do cliente em termos de dados durante as fases de projeto e construção, enquanto os AIR especificam os dados necessários para a operação e manutenção do edifício após a entrega do projeto (Sacks et al., 2018b). Esses requisitos são fundamentais para garantir que as informações necessárias para a gestão de ativos, como cronogramas de manutenção, especificações de materiais e manuais de operação, estejam disponíveis e organizadas de forma eficiente (Rogage; Greenwood, 2020; Thabet; Lucas, 2017a).

Em projetos complexos, como hospitais, aeroportos ou grandes infraestruturas públicas, a definição precisa dos requisitos de informação é crucial para a eficiência operacional. Durante a fase de construção, por exemplo, é necessário garantir que informações detalhadas sobre os sistemas prediais, como HVAC, elétrico e hidráulico, sejam adequadamente registradas (Munir et al., 2020b; Yang; Ergan, 2017). Na fase de operação, essas informações servem como base para a manutenção preventiva, aumentando a confiabilidade dos sistemas e otimizando o ciclo de vida dos ativos (Sacks et al., 2018a).

A definição clara e precisa dos requisitos de informação traz benefícios significativos. Ela facilita a interoperabilidade entre diferentes disciplinas e softwares,

minimiza os riscos de conflitos e retrabalhos e assegura que o modelo BIM entregue na fase de operação contenha dados precisos e atualizados. Além disso, o alinhamento entre os requisitos estabelecidos no BEP e as práticas de modelagem paramétrica contribui para uma melhor coordenação das equipes e para a entrega de um modelo *as-built* funcional e alinhado às necessidades futuras do cliente (ISO), 2018).

O sucesso dos projetos baseados em BIM está diretamente relacionado à capacidade de definir e atender aos requisitos de informação de forma eficiente. Essa prática não apenas melhora o desempenho durante as fases de projeto e construção, mas também contribui para uma gestão eficiente de ativos durante a operação e manutenção da edificação, promovendo a sustentabilidade e o uso otimizado dos recursos.

3.2 Gestão de Instalações - Facilities Management (FM)

3.2.1 Enquadramento geral e Definições da Gestão de Instalações (FM)

O *Facilities Management* (FM), ou Gestão de Instalações, é uma disciplina estratégica voltada ao gerenciamento e integração de pessoas, espaços, processos e tecnologias, garantindo a operação eficiente das instalações físicas de uma organização e promovendo o suporte contínuo às suas atividades principais (Alexander, 1996; Atkin; Brooks, 2015). Segundo a ISO 41011:2017, o FM é definido como a função organizacional que integra pessoas, espaço e processos no ambiente construído, com o propósito de melhorar a qualidade de vida das pessoas e a produtividade do núcleo de negócios (ISO), 2017). Essa definição evidencia o caráter interdisciplinar do FM, que abrange a gestão de ativos físicos, serviços e infraestruturas em diversos setores, como universidades, hospitais e edifícios comerciais.

De acordo com Alexander, (1996) o FM evoluiu de uma função operacional para uma função estratégica, contribuindo diretamente para a criação de valor organizacional. Isso significa que o FM não se restringe apenas à manutenção das instalações, mas também envolve o planejamento estratégico, a otimização de recursos financeiros e a sustentabilidade organizacional. Para Atkin; Brooks, (2015),

a gestão integrada das instalações não apenas reduz custos operacionais, mas também assegura o bem-estar dos usuários e a longevidade dos ativos.

Apesar de seu potencial, o FM enfrenta desafios relacionados à fragmentação de dados e à falta de integração entre diferentes sistemas de informação. Essa limitação pode resultar em falhas na manutenção preventiva, aumento dos custos operacionais e perda de eficiência geral (Lucas et al., 2013b; Lucas; Bulbul; Thabet, 2013). No entanto, a incorporação de tecnologias digitais, como o BIM, trouxe novas oportunidades para centralizar e gerenciar informações ao longo do ciclo de vida das edificações. Para Kassem et al., (2015), a integração entre o BIM e o FM permite a criação de um fluxo contínuo de informações, desde o projeto até a operação, resultando em uma gestão mais eficiente e precisa dos ativos.

Os padrões abertos, como IFC e COBie, desempenham papéis fundamentais na padronização e na interoperabilidade entre diferentes sistemas. Esses padrões garantem que as informações críticas do projeto sejam acessíveis durante a operação e manutenção, facilitando a comunicação entre as partes envolvidas e minimizando inconsistências (BUILDINGSMART INTERNATIONAL, 2021; Patacas et al., 2015).

Além disso, o uso de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*) e a inteligência artificial (IA), está transformando o FM. A IoT permite o monitoramento em tempo real dos sistemas prediais, enquanto a IA é aplicada para prever falhas e otimizar os cronogramas de manutenção (Hu et al., 2018; Sacks et al., 2018b; Zhao et al., 2022). Essas tecnologias permitem que as organizações adotem práticas de manutenção preditiva, aumentando a confiabilidade e a eficiência operacional.

Dessa forma, o FM se apresenta como uma disciplina multifacetada, que não se limita à operação técnica dos edifícios, mas também desempenha um papel estratégico na produtividade e sustentabilidade das organizações. O próximo tópico explorará as diferentes definições de FM, destacando a diversidade de interpretações e suas aplicações ao redor do mundo.

3.2.2 ISO 41001:2020

A ISO 41001:2020, desenvolvida pela Organização Internacional de Normalização (ISO), é a primeira norma global destinada a fornecer uma estrutura sistemática e padronizada para a gestão de instalações. Sua proposta é assegurar

que as organizações planejem, implementem e melhorem continuamente a gestão de seus ativos físicos, serviços de suporte e processos relacionados. Diferente da ISO 41011:2017, que define os conceitos fundamentais do FM, a ISO 41001:2020 estabelece requisitos claros para a implementação de um sistema de gestão eficaz (ISO), 2020).

Entre os principais benefícios da norma está a padronização de práticas, permitindo a comparação de desempenhos e o compartilhamento de boas práticas entre diferentes setores. Segundo Atkin; Brooks, (2015), a padronização é crucial para a adoção de tecnologias modernas, como o BIM, garantindo a interoperabilidade entre sistemas e uma base de dados confiável para a tomada de decisões.

A estrutura da ISO 41001:2020 é baseada no ciclo PDCA (Planejar, Fazer, Verificar, Agir), o que permite um processo de melhoria contínua. Durante a fase de planejamento, são estabelecidos os objetivos de desempenho e os recursos necessários para alcançá-los. Na fase de execução, as atividades operacionais são realizadas de acordo com os planos estabelecidos, seguidas por uma fase de monitoramento e avaliação por meio de KPIs (indicadores de desempenho), como custos de operação, eficiência energética e satisfação dos ocupantes (Cotts; Roper; Payant, 2010).

Estudos mostram que a implementação da ISO 41001 pode resultar em reduções significativas de custos operacionais, maior sustentabilidade e melhoria da satisfação dos usuários. De acordo com Shohet, (2006), a norma promove a integração de tecnologias emergentes, como sensores de IoT e inteligência artificial, que possibilitam o monitoramento em tempo real dos sistemas prediais e a otimização da manutenção preditiva.

A norma é especialmente relevante em grandes organizações e instituições públicas, como universidades, onde a diversidade e a complexidade dos ativos físicos exigem uma gestão integrada. Com a aplicação dos princípios da ISO 41001, essas instituições podem melhorar a eficiência das operações, reduzir desperdícios e maximizar o valor dos seus ativos ao longo do ciclo de vida.

3.2.3 Normatização em Manutenção: Nacional e Internacional

A normatização em manutenção é um pilar fundamental para garantir que os processos de inspeção, reparo, substituição e monitoramento de ativos sejam

realizados de maneira eficiente e segura. As normas oferecem orientações técnicas para a definição de políticas de manutenção, periodicidade de atividades e avaliação de desempenho, assegurando a confiabilidade e a durabilidade dos sistemas (Ben-Daya et al., 2009). No contexto internacional, destacam-se as normas ISO 55001:2014 relacionadas à gestão de ativos e manutenção, enquanto no Brasil, a ABNT desempenha um papel essencial na adaptação dessas normas ao cenário nacional (ABNT, 2014).

A ISO 55000 e suas extensões, como a ISO 55001 e a ISO 55002, formam o arcabouço central da normatização internacional para a gestão de ativos físicos. A ISO 55001 estabelece os requisitos para a criação de um sistema de gestão de ativos, abrangendo aspectos como planejamento estratégico, alocação de recursos, análise de riscos e avaliação de desempenho (ISO), 2014). Essas normas são amplamente aplicadas em setores como infraestrutura, transporte e energia, garantindo que os ativos sejam geridos de forma eficiente ao longo de seu ciclo de vida (Mobley, 2002).

Além disso, a ISO 14224 é de extrema relevância para a manutenção industrial, pois fornece diretrizes para a coleta e análise de dados de confiabilidade e manutenção em sistemas de ativos. De acordo com essa norma, as organizações devem registrar informações detalhadas sobre falhas, reparos e substituições, permitindo uma análise precisa do desempenho dos ativos e a adoção de estratégias preditivas e corretivas adequadas (ISO, 2016)

No Brasil, a ABNT NBR 5462:1994, embora tenha origem na década de 1990, continua sendo uma referência importante no que diz respeito à confiabilidade e manutenção de sistemas. Essa norma define conceitos básicos e critérios para a avaliação da confiabilidade e disponibilidade dos ativos (ABNT, 1994). A ABNT NBR ISO 55001:2014, por sua vez, é uma adaptação da norma internacional ao contexto brasileiro e aborda a implantação de sistemas de gestão de ativos em organizações públicas e privadas (ABNT, 2014). Segundo Ben-Daya et al., (2009), a implementação dessa norma permite uma maior padronização dos processos, facilitando a tomada de decisões estratégicas.

Outro destaque nacional é a ABNT NBR 14037:2011, que estabelece procedimentos para a elaboração de planos de manutenção, inspeção e reposição, com o objetivo de assegurar que os processos de manutenção preventiva e corretiva sejam executados de acordo com padrões técnicos e de segurança (ABNT, 2011). Essa norma é

particularmente importante em instalações críticas, como hospitais e indústrias, onde falhas nos processos de manutenção podem gerar prejuízos significativos.

A conformidade com essas normas traz uma série de benefícios, incluindo a melhoria na eficiência operacional, a redução de custos e o aumento da vida útil dos ativos (BEN-DAYA *et al*., 2009). Segundo Mobley, (2002), a normatização dos processos de manutenção também contribui para a segurança dos operadores, uma vez que estabelece diretrizes claras para a inspeção e substituição de componentes críticos. Para Hu et al., (2018), as tecnologias emergentes, como a IoT, têm potencial para aprimorar a aplicação dessas normas, permitindo o monitoramento em tempo real e a coleta contínua de dados operacionais.

Em um contexto de transformação digital, as normas também têm evoluído para incorporar novas tecnologias, como a Internet das Coisas (IoT) e a inteligência artificial, permitindo que as práticas de manutenção sejam cada vez mais baseadas em dados em tempo real (Jardine; Lin; Banjevic, 2006; Zhao et al., 2022). Dessa forma, a normatização não apenas estabelece diretrizes estáticas, mas também oferece um framework adaptável às inovações tecnológicas e às mudanças nas demandas operacionais.

A adesão às normas, tanto nacionais quanto internacionais, é um fator crítico de sucesso para a implementação de práticas eficientes de manutenção. Organizações que integram essas diretrizes em suas políticas internas de gestão de ativos têm maior capacidade de enfrentar os desafios operacionais, maximizar a utilização de recursos e garantir a sustentabilidade de suas operações ao longo do tempo (Ben-Daya et al., 2009).

3.2.4 Histórico do Gestão de Instalações (FM)

O *Facilities Management* (FM), ou Gestão de Instalações, emergiu como uma resposta às necessidades organizacionais no período pós-Segunda Guerra Mundial, quando a crescente complexidade das operações industriais e comerciais evidenciou a importância de gerenciar espaços físicos, recursos humanos e processos de forma integrada (Alexander, 1996; Cotts; Roper; Payant, 2010). Inicialmente, o FM era focado em funções operacionais básicas, como a manutenção corretiva, limpeza e segurança patrimonial. Essas atividades eram conduzidas de maneira reativa, com pouca ou nenhuma integração entre os departamentos responsáveis.

Nas décadas de 1950 e 1960, o FM foi considerado uma função meramente técnica, focada principalmente na manutenção predial e em serviços básicos, como limpeza e segurança. Entretanto, o aumento da demanda por eficiência organizacional, associado ao crescimento das grandes corporações, impulsionou a evolução dessa disciplina (Cotts; Roper; Payant, 2010). Durante as décadas de 1970 e 1980, o conceito de FM começou a incorporar elementos estratégicos, como o planejamento de longo prazo, a gestão de ativos e o controle de custos, estabelecendo sua importância como parte integrante das operações corporativas (Alexander, 1996; Atkin; Brooks, 2015). Foi nesse período que surgiram associações profissionais fundamentais para a estruturação do FM, como a International Facility Management Association (IFMA), fundada em 1980 nos Estados Unidos (IFMA, 2016), e a British Institute of Facilities Management (BIFM), estabelecida no Reino Unido, em 1993. Essas organizações desempenharam um papel essencial na definição das melhores práticas, estabelecendo padrões profissionais e promovendo a valorização do FM como uma disciplina essencial para o desempenho organizacional.

Nos anos 1990, o FM foi significativamente impactado pela introdução de tecnologias digitais e sistemas computadorizados de gestão. Os sistemas computadorizados de gerenciamento de manutenção (CMMS – Computerized Maintenance Management Systems) tornaram-se ferramentas importantes para automatizar processos, coletar e analisar dados sobre o desempenho dos ativos e otimizar cronogramas de manutenção (Patacas et al., 2015). Esse avanço tecnológico permitiu a transição gradual de uma abordagem reativa, baseada em manutenção corretiva, para práticas mais eficientes, como a manutenção preventiva e preditiva.

Na década de 2000, a integração de tecnologias emergentes, como *o Building Information Modeling* (BIM), a Internet das Coisas (IoT) e a inteligência artificial (IA), redefiniu o panorama do FM. O BIM trouxe a possibilidade de centralizar dados gráficos e não gráficos em um único modelo digital, facilitando o acesso a informações críticas ao longo do ciclo de vida das edificações (Patacas et al., 2015). A IoT, por sua vez, permitiu o monitoramento em tempo real dos sistemas prediais, enquanto a IA foi aplicada para prever falhas e otimizar a gestão de ativos (Wiggins, 2021; Zhao et al., 2022).

Nos últimos anos, o FM foi formalmente reconhecido como uma disciplina estratégica com a publicação de normas internacionais, como a ISO 41001:2020, que estabelece diretrizes para a implementação de sistemas de gestão de instalações

(ISO, 2020). Segundo Jensen, (2019), a adoção dessa norma promove a padronização e a melhoria contínua das operações, permitindo que organizações de diferentes setores adotem práticas uniformes baseadas em evidências. Além disso, o uso de indicadores de desempenho (KPIs) permite monitorar a eficiência operacional e adaptar as práticas de FM às mudanças nas demandas organizacionais (Cotts; Roper; Payant, 2010).

Assim, o histórico do FM reflete uma transição contínua de uma função técnica para uma atividade estratégica integrada. Atualmente, o FM desempenha um papel central na otimização de recursos, no aumento da eficiência organizacional e na promoção da sustentabilidade. A combinação de avanços tecnológicos e diretrizes normativas possibilita que o FM contribua diretamente para a inovação e o sucesso das organizações modernas.

3.2.5 Tipos de Manutenção: Corretiva, Preventiva e Preditiva

A manutenção é uma atividade essencial para assegurar o desempenho, a segurança e a longevidade dos ativos físicos em organizações de diferentes setores. Os tipos de manutenção podem ser classificados em três categorias principais: corretiva, preventiva e preditiva (Ben-Daya et al., 2009; Mobley, 2002). Cada uma dessas abordagens apresenta características específicas, aplicabilidades e benefícios distintos.

A manutenção corretiva, também conhecida como manutenção reativa, é realizada após a ocorrência de uma falha ou avaria (Ben-Daya et al., 2009). Essa abordagem, apesar de simples e, em alguns casos, inevitável, apresenta desvantagens significativas, como o tempo de inatividade não planejado e os elevados custos associados à reparação emergencial dos ativos (Mobley, 2002). Em muitos casos, a manutenção corretiva é utilizada quando os custos de falha são baixos ou quando não há disponibilidade de recursos para implementar práticas mais avançadas. No entanto, sua aplicação sem um planejamento estratégico pode acarretar consequências críticas, especialmente em instalações industriais ou sistemas de infraestrutura (Ben-Daya et al., 2009).

A manutenção preventiva tem como objetivo evitar a ocorrência de falhas por meio de intervenções periódicas programadas, independentemente do estado real do ativo. Baseada em cronogramas previamente estabelecidos, essa abordagem inclui

atividades como inspeções, substituição de peças e lubrificação de componentes (Mobley, 2002). Embora a manutenção preventiva reduza o risco de falhas inesperadas, pode gerar custos adicionais devido a substituições desnecessárias e interrupções programadas (Patacas et al., 2015). Como observado por Lee; NI, (2013), a eficácia da manutenção preventiva está diretamente relacionada à precisão dos intervalos de tempo definidos para as intervenções. Um planejamento inadequado pode resultar em desperdício de recursos ou na manutenção insuficiente de componentes críticos.

A manutenção preditiva representa uma evolução em relação às abordagens corretiva e preventiva, baseando-se no monitoramento contínuo das condições reais dos ativos para prever falhas antes que estas ocorram. Essa abordagem avançada utiliza tecnologias como sensores IoT, inteligência artificial (IA) e análise de dados em tempo real para identificar padrões e emitir alertas de manutenção de forma precisa (Lee; Ni, 2013; Gan *et al*., 2018). Segundo Mobley, (2002), a manutenção preditiva permite uma abordagem personalizada e eficiente, minimizando o tempo de inatividade não planejado e otimizando o ciclo de vida dos ativos. Técnicas como a análise de vibração, termografia infravermelha e análise de óleos são amplamente utilizadas para detectar problemas antes de se tornarem críticos (Jardine; Lin; Banjevic, 2006).

Historicamente, a manutenção preditiva começou a se desenvolver nas décadas de 1960 e 1970, com o avanço das tecnologias de monitoramento de condições, inicialmente centradas na análise de vibração e termografia (Mobley, 2002). Recentemente, o uso de sensores IoT e algoritmos de aprendizado de máquina ampliou o alcance dessa abordagem, permitindo maior precisão na previsão de falhas (Zhao et al., 2022). Para Sacks et al., (2018a), a integração de sistemas de manutenção preditiva com plataformas digitais, como sistemas de gestão de manutenção computadorizada (CMMS), melhora a alocação de recursos, a programação de intervenções e a análise de custos operacionais.

Apesar de seus benefícios comprovados, a implementação da manutenção preditiva enfrenta desafios importantes, incluindo altos custos iniciais de instalação, a falta de padronização nos formatos de dados e a necessidade de capacitação profissional (Ben-Daya et al., 2009). Para superar essas limitações, Motamedi; Hammad; Asen, (2014), recomendam a adoção de padrões de dados abertos e o investimento em treinamento contínuo para as equipes de manutenção. Segundo

Marmo et al., (2019), o futuro da manutenção preditiva envolve a integração com tecnologias emergentes, como gêmeos digitais, que permitem a simulação virtual das condições reais dos ativos, proporcionando previsões ainda mais precisas e intervenções proativas.

Em resumo, a escolha entre manutenção corretiva, preventiva ou preditiva deve ser baseada em uma análise criteriosa dos custos, da criticidade dos ativos e das condições operacionais da organização. Embora a manutenção preditiva represente a abordagem mais avançada, sua implementação bem-sucedida requer investimentos tecnológicos, planejamento estratégico e uma cultura organizacional voltada para a inovação (Lee; Ni, 2013; Mobley, 2002).

3.2.6 Periodicidade de Manutenções

A periodicidade de manutenções refere-se ao intervalo de tempo previamente estabelecido entre as atividades de inspeção, ajuste, reparo ou substituição de componentes em um sistema ou equipamento. A determinação dessa periodicidade é um fator crítico na gestão de instalações, influenciando diretamente os custos operacionais, a eficiência dos equipamentos e a prevenção de falhas *(Ben-Daya et al., 2009; Jardine; Lin; Banjevic, 2006)*. De acordo com Mobley, (2002), a definição adequada do intervalo de manutenção deve considerar não apenas a recomendação do fabricante, mas também dados operacionais específicos, condições ambientais e históricos de falhas.

A manutenção preventiva é agendada com base em intervalos fixos, geralmente definidos pelo tempo de operação ou pelo uso de um determinado ativo. Esse tipo de manutenção é utilizado para evitar a deterioração e garantir a longevidade dos equipamentos. No entanto, quando não é baseada em dados reais de operação, pode resultar em intervenções desnecessárias ou tardias (Mobley, 2002). Por outro lado, a manutenção preditiva, como abordado no tópico anterior, permite a otimização dos intervalos de manutenção ao se basear em condições reais dos ativos monitorados, minimizando paradas não planejadas (Lee; Ni, 2013).

A periodicidade ideal varia de acordo com a criticidade do ativo e a função desempenhada no sistema geral. Equipamentos de suporte crítico, como sistemas de energia, HVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado) e sistemas de segurança, requerem intervalos de manutenção mais frequentes devido ao impacto de suas falhas

na operação global (Yang; Ergan, 2017). Em contrapartida, ativos de baixa criticidade podem seguir cronogramas mais flexíveis. Jardine; Lin; Banjevic, (2006) argumentam que a análise preditiva é especialmente importante na definição de periodicidades personalizadas, evitando tanto o desgaste precoce por excesso de intervenções quanto falhas inesperadas por manutenção inadequada.

O uso de tecnologias digitais e sistemas integrados de gestão da manutenção computadorizada (CMMS) tem facilitado a determinação e o ajuste dinâmico da periodicidade das manutenções. Esses sistemas analisam automaticamente os dados operacionais, ajustando os cronogramas de manutenção de acordo com o desempenho dos equipamentos e os padrões de desgaste observados (Motamedi; Hammad; Asen, 2014). Além disso, sensores de monitoramento contínuo e algoritmos de aprendizado de máquina são usados para prever falhas potenciais e otimizar os intervalos de intervenção (Ben-Daya et al., 2009). Esse avanço tecnológico permite que a manutenção seja realizada de forma mais eficiente e econômica, ao mesmo tempo em que melhora a confiabilidade operacional.

Apesar das vantagens, a aplicação eficiente da manutenção baseada em periodicidade ainda enfrenta desafios, como a resistência organizacional à mudança de práticas tradicionais e a falta de padronização nos dados utilizados para a tomada de decisão. Sacks et al., (2018a)apontam que a colaboração entre diferentes setores dentro da organização é essencial para o sucesso dessa abordagem. Quando bem implementada, a gestão adequada da periodicidade de manutenções pode resultar em reduções significativas de custos, prolongamento da vida útil dos equipamentos e melhorias na sustentabilidade operacional.

Sendo assim, a definição correta da periodicidade de manutenções não é apenas uma questão técnica, mas uma decisão estratégica que requer análise contínua e adaptação às condições operacionais específicas. O avanço das tecnologias de monitoramento e análise de dados tem possibilitado melhorias significativas nessa área, aumentando a confiabilidade dos sistemas e contribuindo para a eficiência geral das instalações.

3.2.7 Indicadores de Desempenho (KPI) para a Manutenção

Os indicadores-chave de desempenho (KPIs), conhecidos como *Key Performance Indicators*, são instrumentos essenciais para avaliar e monitorar a

eficiência das práticas de manutenção em diferentes setores (Parida; Kumar, 2006). Estes indicadores fornecem dados quantitativos e qualitativos que embasam decisões estratégicas, ajudando as organizações a identificarem pontos críticos, otimizar recursos e promover a melhoria contínua dos processos de manutenção (Zohra Berrabah; Belkacemic; Zemmouchi-Ghomari, 2022). A definição de KPIs é uma prática comum em sistemas de gestão de ativos, especialmente em ambientes complexos onde a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos são fundamentais (Ben-Daya et al., 2009).

Os KPIs podem ser agrupados em categorias como disponibilidade operacional, taxa de falhas e custo de manutenção. A disponibilidade operacional mede o tempo em que os equipamentos estão aptos para uso em comparação ao tempo total previsto, um dado crucial para a análise de desempenho em setores industriais (Parida; Kumar, 2006). O tempo médio entre falhas (MTBF), por sua vez, é amplamente utilizado para verificar a confiabilidade dos ativos, indicando a frequência com que ocorrem falhas inesperadas (Mobley, 2002). De maneira complementar, o tempo médio para reparo (MTTR) é uma métrica que avalia a agilidade dos processos de recuperação, influenciando diretamente o tempo de inatividade não planejado (Zohra Berrabah; Belkacemic; Zemmouchi-Ghomari, 2022).

O monitoramento eficiente desses indicadores é facilitado pelo uso de tecnologias digitais e sistemas de gestão de manutenção computadorizada (CMMS), que permitem a coleta de grandes volumes de dados e a análise em tempo real (Sacks et al., 2018a). Sensores conectados por meio de tecnologias da Internet das Coisas (IoT) são capazes de capturar informações sobre temperatura, vibração e pressão, possibilitando a identificação de padrões complexos por meio de algoritmos de aprendizado de máquina (Zhao et al., 2022). Essa integração tecnológica aprimora a precisão na detecção de falhas potenciais e na execução de intervenções corretivas e preditivas (Gan et al., 2018).

A padronização dos KPIs é um desafio que tem recebido atenção crescente em normativas internacionais, como a ISO 55000, que estabelece princípios para a gestão eficiente de ativos e para a definição de métricas de desempenho (ISO, 2014). No Brasil, a NBR ISO 14224:2016 orienta a coleta e o intercâmbio de dados de manutenção, promovendo a uniformidade das métricas e facilitando a comparação entre unidades operacionais (ISO, 2016). Essa padronização é especialmente importante em contextos em que múltiplos fornecedores e tecnologias distintas

coexistem, exigindo interoperabilidade e integração de informações (Motamedi; Hammad; Asen, 2014).

Apesar dos avanços tecnológicos, a efetividade dos KPIs depende não apenas da infraestrutura disponível, mas também da capacitação dos profissionais responsáveis por sua aplicação e análise (Mobley, 2002). Falhas na interpretação dos dados podem levar a decisões inadequadas, comprometendo a eficiência dos processos de manutenção (Ben-Daya et al., 2009). Por isso, é essencial que as organizações adotem uma abordagem estruturada para a definição, monitoramento e revisão periódica dos indicadores, garantindo alinhamento com seus objetivos estratégicos e operacionais (Parida; Kumar, 2006; Zohra Berrabah; Belkacemic; Zemmouchi-Ghomari, 2022).

Os KPIs de manutenção proporcionam não apenas uma visão sobre a saúde dos ativos, mas também são fundamentais para o planejamento financeiro, a alocação de recursos e a implementação de práticas sustentáveis ao longo do ciclo de vida dos equipamentos (Zohra Berrabah; Belkacemic; Zemmouchi-Ghomari, 2022). A adoção de metodologias baseadas em dados e o uso de tecnologias emergentes continuarão a influenciar a evolução dessas métricas, contribuindo para uma gestão mais eficaz e sustentável das operações de manutenção (Gan et al., 2018; Mobley, 2002).

3.2.8 Vida Útil e Gestão de Ativos

A vida útil de um ativo representa o período durante o qual ele mantém condições adequadas de operação e oferece o desempenho esperado de forma segura e econômica. Esse conceito é fundamental na gestão de ativos, pois influencia diretamente a eficiência operacional, a sustentabilidade e o custo total de propriedade (TCO) dos ativos físicos (Ben-Daya et al., 2009). De acordo com Woodhouse, (2003), a gestão eficaz da vida útil envolve uma abordagem estruturada que integra práticas de manutenção preventiva, preditiva e corretiva, combinadas com a substituição e modernização de ativos críticos no momento certo.

A ISO 55000 destaca a gestão de ativos como uma atividade coordenada para otimizar valor ao longo do ciclo de vida dos ativos, garantindo decisões sustentáveis e baseadas em dados (ISO, 2014). Esse processo é suportado por tecnologias digitais que permitem monitoramento em tempo real, como sensores de Internet das Coisas (IoT), gêmeos digitais e sistemas integrados de gestão da manutenção (Gan et al.,

2018). A coleta contínua de dados sobre variáveis operacionais, como temperatura, vibração e desgaste, facilita a previsão de falhas e otimiza os cronogramas de manutenção (Terreno; Asadi; Anumba, 2019).

As normas internacionais também desempenham um papel essencial no planejamento e monitoramento da vida útil dos ativos. A ISO 15686 fornece diretrizes específicas para avaliar o desempenho e prever a vida útil de edifícios e infraestruturas, promovendo a análise proativa de fatores técnicos e econômicos (ISO, 2011). No Brasil, a NBR ISO 14224:2016 estabelece diretrizes para a coleta e análise de dados de manutenção e confiabilidade, permitindo a identificação de tendências e melhorias no desempenho dos ativos (ISO, 2016). Segundo o *Institute Of Asset Management, (2015)*, a padronização nas práticas de gestão de ativos permite uma visão integrada do ciclo de vida e facilita decisões de manutenção baseadas em evidências.

Além das normas, os indicadores-chave de desempenho (KPIs) desempenham um papel crucial na gestão da vida útil. Métricas como o tempo médio entre falhas (MTBF) e o tempo médio para reparo (MTTR) fornecem informações críticas para o planejamento de intervenções e a alocação eficiente de recursos (Parida; Kumar, 2006). De acordo com Zohra Berrabah; Belkacemic; Zemmouchi-Ghomari, (2022), a adoção de KPIs alinhados às estratégias de manutenção aumenta a confiabilidade dos ativos e reduz os tempos de inatividade não planejados.

A evolução das tecnologias digitais ampliou significativamente o potencial da gestão da vida útil. O uso de algoritmos de aprendizado de máquina permite análises preditivas avançadas, identificando padrões de falha complexos e emitindo alertas antes que as falhas ocorram (Gan et al., 2018; Matarneh et al., 2019b). Conforme apontado por Merino et al., (2023), a integração de sistemas de gestão de ativos com gêmeos digitais proporciona simulações precisas das condições dos equipamentos, permitindo otimizações contínuas.

Conforme observa Woodhouse, (2003), a gestão de ativos eficaz requer equipes qualificadas para analisar e agir com base nos dados coletados, além de investimentos em ferramentas e tecnologias adequadas. O sucesso na gestão da vida útil também depende da adoção de padrões de dados abertos, como o IFC, que facilitam a troca de informações entre plataformas distintas (Patacas et al., 2015).

Em síntese, a gestão eficaz da vida útil não se limita ao monitoramento de desgaste e substituições programadas. Ela envolve a aplicação de tecnologias

emergentes, a padronização de processos e a análise contínua de dados operacionais. Essa abordagem integrada contribui para maximizar a durabilidade dos ativos, reduzir os custos operacionais e promover a sustentabilidade organizacional de longo prazo (Mobley, 2002).

3.3 Integração entre BIM e FM (BIM-FM)

A integração entre BIM e a Gestão das Instalações (*Facilities Management* - FM) está se tornando essencial para a gestão eficiente e sustentável das edificações ao longo de seu ciclo de vida. Essa abordagem busca otimizar a operação, manutenção e gestão de ativos ao centralizar informações precisas em modelos digitais e promover a interoperabilidade entre diferentes sistemas (Motamedi; Hammad; Asen, 2014). Ao conectar os dados gerados durante as fases de projeto e construção com as necessidades operacionais e de manutenção, o BIM-FM viabiliza uma tomada de decisão mais assertiva, reduz os custos operacionais e prolonga a vida útil dos ativos (Chen; Tang, 2019).

3.3.1 O Decreto nº 10.306, de 2020

O Decreto nº 10.306, de 2020, é um marco regulatório na adoção do BIM no Brasil, especialmente no setor público. Ele estabelece a obrigatoriedade da utilização do BIM em contratos públicos de obras e serviços de engenharia, promovendo uma mudança nas práticas tradicionais de projeto e construção para um modelo mais digitalizado e colaborativo. Segundo o decreto, a adoção do BIM ocorrerá em três etapas progressivas até 2028, quando se espera que o BIM seja plenamente utilizado na gestão de ativos durante a fase de operação e manutenção das edificações (Brasil, 2020).

Essa estratégia se fundamenta na necessidade de modernizar a infraestrutura pública e aumentar a transparência e eficiência dos processos. Como apontam Viana; Carvalho, (2020), a fragmentação dos dados e a falta de integração entre sistemas têm sido fatores críticos para atrasos, aumento de custos e falhas operacionais em obras públicas. Com o BIM, espera-se superar essas limitações, utilizando modelos digitais como fonte única de informação. Conforme indicado por Barbosa et al., (2020)

a aplicação do BIM no setor público também pode ser uma ferramenta importante para assegurar a continuidade das informações ao longo de todo o ciclo de vida do projeto.

Além disso, o decreto incentiva a adoção de padrões abertos, como o IFC e o COBie, para garantir a interoperabilidade entre diferentes sistemas de software. Essa padronização é essencial para assegurar que os dados gerados durante as fases iniciais do projeto possam ser transferidos e utilizados durante a operação da edificação, minimizando perdas de informação e inconsistências (BuildingSMART, 2021).

No entanto, a implementação do decreto não está isenta de desafios. Conforme Mcarthur, (2015), a falta de capacitação técnica e resistência organizacional são obstáculos comuns em países que iniciam a adoção do BIM. No contexto brasileiro, Viana; Carvalho, (2020) destacam a necessidade de políticas específicas de governança da informação e programas de capacitação para os gestores das instituições públicas. Essas iniciativas garantem que os dados sejam coletados, gerenciados e atualizados de forma consistente, maximizando os benefícios do BIM.

Desta maneira, o Decreto nº 10.306 representa uma oportunidade para modernizar a gestão pública, promovendo eficiência, redução de custos e maior transparência nos contratos públicos. No entanto, seu sucesso depende de uma implementação bem planejada, que inclua tanto investimentos tecnológicos quanto o desenvolvimento de competências profissionais.

3.3.2 Benefícios da Integração do BIM com o FM

A integração entre BIM e FM oferece uma gama de benefícios diretos e indiretos, com impacto significativo na sustentabilidade das edificações, na eficiência operacional e na redução de custos ao longo do ciclo de vida dos ativos. Um dos principais benefícios dessa integração é a centralização das informações em um modelo digital único. Conforme apontado por Becerik-Gerber et al., (2012), isso facilita o acesso rápido a informações críticas, como manuais de operação, histórico de manutenção e especificações técnicas dos ativos, eliminando a necessidade de busca manual em diferentes fontes de dados.

Além disso, a integração BIM-FM permite o monitoramento contínuo dos sistemas prediais por meio de sensores IoT e algoritmos de inteligência artificial (IA), possibilitando uma gestão preditiva e preventiva (Matarneh et al., 2020). Segundo

Zhao et al., (2022), a análise de dados em tempo real permite a detecção precoce de falhas, reduzindo o tempo de inatividade não planejado e prolongando a vida útil dos equipamentos. Por exemplo, sensores instalados em sistemas de climatização podem monitorar a eficiência energética e sinalizar quando o consumo estiver acima do normal, indicando a necessidade de manutenção preventiva (Moretti et al., 2021).

Outro benefício importante é a melhoria na sustentabilidade das edificações, especialmente em projetos de grande escala, como hospitais e universidades. A integração BIM-FM permite monitorar e controlar o consumo de energia e água em tempo real, facilitando a implementação de práticas sustentáveis (Patacas et al., 2015). Essa abordagem contribui diretamente para a redução dos custos operacionais e para o cumprimento de regulamentações ambientais.

A melhora na comunicação e colaboração entre equipes também é um benefício amplamente reconhecido. Com a adoção de padrões abertos, como o IFC e o COBie, a troca de informações entre arquitetos, engenheiros, gestores de instalações e prestadores de serviços se torna mais fluida e precisa (BuildingSMART, 2021). Isso reduz erros de comunicação e inconsistências nas informações, que são causas comuns de retrabalho e atrasos nos cronogramas de manutenção *(Lucas et al., 2013b)*.

De forma geral, os principais benefícios da integração BIM-FM podem ser organizados em quatro dimensões:

- Operacional: otimização das atividades de manutenção preventiva e preditiva, reduzindo o tempo de inatividade.
- Financeira: redução de custos operacionais e melhora no planejamento de recursos.
- Sustentabilidade: uso racional de recursos naturais, contribuindo para a eficiência energética.
- Informacional: padronização e centralização das informações, facilitando o acesso e a tomada de decisão.

Esses benefícios demonstram o potencial estratégico da integração BIM-FM para modernizar a gestão de ativos, promover a sustentabilidade e garantir a longevidade das edificações (Kula; Ergen, 2021; Matarneh et al., 2019b; Morais; Almeida Filho; Palha, 2024; Pärn; Edwards, 2017).

3.3.3 Desafios da Integração BIM-FM

Embora a integração entre o BIM e FM ofereça inúmeros benefícios, ela enfrenta desafios significativos que dificultam sua implementação em larga escala, especialmente em instituições públicas (Pinti; Codinhoto; Bonelli, 2022). Um dos principais entraves é a falta de padronização nos processos de coleta, armazenamento e uso das informações (Oliveira et al., 2024). De acordo com Alavi; Bortolini; Forcada, (2022), a ausência de requisitos de informação bem definidos durante as etapas de projeto e construção resulta na geração de dados redundantes ou imprecisos, comprometendo a eficiência na fase de operação. Esses problemas são intensificados em ambientes onde a governança da informação é inadequada o que pode levar a inconsistências nos dados e atrasos nas decisões operacionais (Desbalo et al., 2024).

Outro desafio relevante está relacionado à interoperabilidade limitada entre diferentes plataformas digitais. Conforme Farghaly et al., (2018), muitos projetos ainda utilizam sistemas legados que não conseguem se comunicar adequadamente com os modelos BIM gerados durante as fases iniciais do ciclo de vida da edificação. Essa limitação cria dificuldades na troca de informações, causando erros, duplicações de dados e perda de eficiência. Além disso, a falta de padrões universais adotados de forma consistente pelas organizações contribui para esse cenário de fragmentação (Oliveira et al., 2024).

A capacitação e a resistência organizacional também desempenham papéis importantes nos desafios enfrentados. Benn; Stoy, (2023) destacam que muitos profissionais de FM não possuem o treinamento necessário para interpretar e utilizar as informações geradas pelos modelos BIM. Isso pode gerar resistência à adoção de novas tecnologias e limitar o potencial da integração BIM-FM. Mcarthur, (2015) aponta que essa resistência é geralmente motivada por fatores culturais, como a falta de uma cultura de inovação, e pela percepção de que o custo inicial de implementação é elevado.

Segundo Succar, (2009), o estabelecimento de fluxos de trabalho colaborativos também é uma medida eficaz, pois promove a comunicação entre os diferentes stakeholders e assegura que as informações estejam acessíveis e atualizadas em tempo real. Programas de capacitação e treinamentos contínuos também são

recomendados para preparar os profissionais para as novas tecnologias, garantindo que a integração BIM-FM atinja seu potencial máximo.

3.3.4 A ISO 19650 e a Gestão da Informação no Ciclo de Vida da Edificação

A norma ISO 19650, publicada inicialmente em 2018, estabelece os princípios para a organização e digitalização da informação no ambiente construído, incluindo o uso do BIM ao longo do ciclo de vida das edificações (ISO, 2018). Baseada nas boas práticas previamente adotadas no Reino Unido por meio do BS EN 1192, a ISO 19650 é uma referência global para a gestão eficiente da informação, cobrindo desde a concepção até a operação e demolição dos ativos físicos (ISO), 2018).

A principal contribuição da ISO 19650 é a criação de uma estrutura padronizada para a governança da informação, permitindo que as partes interessadas trabalhem de forma colaborativa em um ambiente comum de dados (*Common Data Environment* - CDE). De acordo com Lavy; Saxena; Dixit, (2019), o CDE facilita a troca de informações de maneira estruturada, garantindo que todos os envolvidos no projeto tenham acesso às informações corretas e atualizadas, minimizando erros e redundâncias. A norma define que as informações devem ser organizadas em estágios específicos, cada um com requisitos claros, desde o planejamento inicial até a entrega final e a operação do ativo (Godager et al., 2022).

No contexto da gestão de instalações, a ISO 19650 desempenha um papel crucial ao garantir a continuidade e a precisão das informações transferidas das fases de projeto e construção para a operação e manutenção. Conforme Lucas et al., (2013a), uma das principais causas de falhas na manutenção é a falta de acesso a informações precisas sobre os ativos. O uso de um CDE, como proposto pela ISO 19650, elimina essa barreira, integrando dados de projeto, especificações técnicas e históricos de manutenção em uma plataforma única.

Outro aspecto relevante da ISO 19650 é a definição dos Requisitos de Informação do Projeto (PIR) e dos Requisitos de Informação dos Ativos (AIR), que estabelecem os dados necessários para a operação eficiente das instalações (Thabet; Lucas, 2017b). Esses requisitos são críticos para evitar a coleta de dados irrelevantes e garantir que apenas as informações essenciais sejam mantidas no modelo digital, otimizando a gestão dos ativos (Farghaly et al., 2018). A norma também enfatiza a necessidade de

revisar e validar continuamente as informações ao longo do ciclo de vida do projeto, garantindo que elas permaneçam atualizadas e precisas (ISO, 2018).

Ademais, a ISO 19650 está alinhada com a adoção de padrões abertos, como o IFC e o COBie, que garantem a interoperabilidade entre diferentes sistemas de software. Para Jia; Ma; Zhang, (2024), essa integração é essencial para evitar a fragmentação de dados e facilitar a colaboração entre arquitetos, engenheiros e gestores de instalações. O uso de padrões abertos também promove a transparência e a rastreabilidade das informações, um aspecto crítico para a gestão de grandes projetos de infraestrutura pública (Hallberg; Tarandi, 2011).

No entanto, a implementação da ISO 19650 apresenta desafios práticos, especialmente em contextos de baixa maturidade tecnológica, como o setor público brasileiro. Segundo Viana; Carvalho, (2020), a falta de conhecimento técnico sobre os requisitos da norma e a resistência à adoção de novas práticas de governança são obstáculos recorrentes. Para superar esses desafios, é necessário investir em capacitação profissional e na criação de políticas de governança da informação, assegurando que os dados sejam coletados, armazenados e utilizados de forma eficaz.

Dessa forma, a ISO 19650 se destaca como um elemento central para a modernização da gestão de informações no ciclo de vida das edificações, promovendo a colaboração, a eficiência operacional e a sustentabilidade dos projetos. Sua implementação adequada pode não apenas aumentar a longevidade e a confiabilidade dos ativos, mas também reduzir custos associados à operação e manutenção.

3.4 Gestão da Informação no Contexto BIM-FM

A gestão da informação desempenha um papel central na eficiência e sustentabilidade das edificações ao longo de todo o ciclo de vida dos ativos. No contexto da integração entre o BIM e o FM, a informação não apenas sustenta as decisões de projeto, construção e operação, mas também influencia diretamente a qualidade dos serviços de manutenção. Conforme Patacas *et al.* (2015), a centralização das informações e o uso de tecnologias digitais otimizam a acessibilidade e a precisão dos dados, permitindo intervenções mais eficazes e

reduzindo custos operacionais. Essa seção discute a importância da padronização dos dados, as tecnologias emergentes aplicadas à gestão da informação e a necessidade de garantir a atualização contínua ao longo do ciclo de vida das edificações.

3.4.1 A Importância da Gestão da Informação para Operação e manutenção (O&M)

A operação e manutenção (O&M) de edificações dependem de informações precisas e acessíveis sobre os sistemas prediais, ativos físicos e históricos de manutenção. A falta de acesso a dados confiáveis pode gerar falhas operacionais, custos desnecessários e degradação prematura dos ativos (Lucas; Bulbul; Thabet, 2013). Nesse sentido, a integração do BIM com o FM, mediada por práticas eficazes de gestão da informação, permite que as decisões operacionais sejam baseadas em dados reais e atualizados.

A literatura enfatiza que uma gestão eficiente da informação melhora a precisão das intervenções, resultando na redução de falhas inesperadas e no prolongamento da vida útil dos ativos (Korpela et al., 2015; Matarneh et al., 2019a). Segundo, Yoon; Cha; Kim, (2019), a centralização de dados históricos e operacionais permite o desenvolvimento de estratégias preditivas, nas quais as falhas potenciais são identificadas antes de causarem impactos operacionais significativos. Assim, a gestão da informação é fundamental não apenas para as atividades de manutenção, mas também para a sustentabilidade geral das operações.

3.4.2 Tecnologias Emergentes para a Gestão da Informação

Com a crescente complexidade dos projetos de construção e operação de edifícios, a adoção de tecnologias emergentes tornou-se fundamental para enfrentar os desafios de gestão da informação no contexto BIM-FM (Matarneh et al., 2019b). Tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), blockchain, Realidade Aumentada (RA), gêmeos digitais e Sistemas de Informação Geográfica (GIS) estão transformando a forma como as informações são coletadas, processadas e utilizadas, promovendo a interoperabilidade entre sistemas e aumentando a eficiência das operações. Essas inovações permitem que os dados sejam integrados em tempo real,

garantindo maior precisão nas tomadas de decisão e promovendo a sustentabilidade ao longo do ciclo de vida dos ativos (Hu et al., 2018; Sacks et al., 2018b).

A IoT é uma das tecnologias mais impactantes para a gestão da informação, devido à sua capacidade de monitoramento contínuo por meio de sensores conectados instalados em sistemas e equipamentos críticos (Cocco; Tonelli; Marchesi, 2022). Esses sensores capturam dados em tempo real sobre parâmetros operacionais, como temperatura, vibração, pressão e consumo de energia, e transmitem essas informações para plataformas de gestão integradas (Gan et al., 2018). Com base nesses dados, algoritmos de inteligência artificial podem prever falhas, otimizar intervenções de manutenção e reduzir o tempo de inatividade não planejado (Sarkar; Dhaneshwar; Raval, 2023).

Complementando a IoT, a Identificação por Radiofrequência (RFID) desempenha um papel importante no rastreamento e na atualização automática de informações de ativos físicos (Motamedi et al., 2016). As etiquetas RFID instaladas nos elementos construtivos garantem que informações críticas sejam registradas e transmitidas em tempo real, melhorando a eficiência do processo de manutenção (Motamedi *et al*., 2016). Quando integradas aos sistemas BIM-FM, essas tecnologias minimizam a perda de dados ao longo das transferências entre as fases do ciclo de vida das edificações, reduzindo a fragmentação e promovendo uma gestão contínua (Sacks et al., 2018a, 2018b).

A segurança e a integridade dos dados também são fatores críticos na gestão de informações de edifícios complexos, especialmente em projetos públicos que envolvem múltiplos stakeholders (Singh; Kumar, 2024). Nesse sentido, o blockchain emerge como uma tecnologia promissora, ao fornecer uma estrutura descentralizada e imutável para o armazenamento de dados (Zhang; Doan; Kang, 2023). Cada alteração nas informações de ativos ou nos registros de manutenção pode ser rastreada, garantindo a transparência e a confiança nos dados compartilhados entre as partes envolvidas (Sarkar; Dhaneshwar; Raval, 2023). O uso de blockchain é particularmente relevante em situações em que a rastreabilidade e a verificação de dados são essenciais para evitar erros e inconsistências.

Além das tecnologias de monitoramento e segurança, a Realidade Aumentada (RA) e a Realidade Virtual (RV) vêm ampliando as possibilidades de visualização e interação com os modelos digitais (El Ammari; Hammad, 2019; Olbrich et al., 2013). Por meio dessas tecnologias, técnicos de manutenção podem sobrepor informações

digitais diretamente no ambiente físico, facilitando inspeções e diagnósticos precisos sem a necessidade de consultar documentos separados (Baek; Ha; Kim, 2019; Carreira et al., 2018) . Por exemplo, um técnico pode visualizar as especificações internas de um sistema HVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado) através de um dispositivo de RA enquanto realiza uma inspeção no local, otimizando a execução das tarefas (Carreira et al., 2018).

O Sistema de Informação Geográfica (GIS) desempenha um papel complementar ao BIM, integrando dados espaciais e informações de ativos físicos em uma plataforma visual única (Congiu et al., 2023). O GIS fornece representações precisas da localização dos ativos e permite o mapeamento de informações como redes de utilidades, acessibilidade e zonas de risco (Carrasco et al., 2024). Quando integrado ao BIM, o GIS permite uma análise mais abrangente das condições do ambiente construído, ajudando a identificar áreas críticas e a otimizar estratégias de manutenção e intervenção (Cepa et al., 2023). A combinação dessas tecnologias melhora a capacidade de resposta e facilita a gestão de grandes projetos de infraestrutura.

Os gêmeos digitais (*Digital Twins*) são outra inovação transformadora que, quando integrados ao BIM, permitem a criação de réplicas virtuais dinâmicas dos ativos físicos (Merino et al., 2023). Essas réplicas não apenas simulam as condições operacionais em tempo real, mas também oferecem previsões baseadas em cenários futuros, permitindo intervenções proativas e otimizadas (Zhao et al., 2022). Por meio dos gêmeos digitais, é possível monitorar o desempenho dos ativos de forma contínua, identificando possíveis pontos de falha antes que eles comprometam o funcionamento do edifício (Almatared et al., 2024). Essa abordagem contribui para a redução dos custos de manutenção e para o prolongamento da vida útil dos ativos.

Essas tecnologias emergentes, embora promissoras, apresentam desafios relacionados à sua implementação, incluindo a necessidade de investimentos em infraestrutura tecnológica, a interoperabilidade entre sistemas e a capacitação de profissionais para lidar com os dados gerados (Cocco; Tonelli; Marchesi, 2022). No entanto, quando bem implementadas, oferecem benefícios significativos para a gestão integrada e eficiente da informação, promovendo a sustentabilidade operacional e a inovação no setor de construção.

3.5 Revisão Sistemática da Literatura

A revisão sistemática da literatura foi conduzida com o objetivo de identificar as principais tendências, lacunas e oportunidades no campo da gestão da informação no contexto do BIM integrado ao FM. Esse levantamento permitiu uma análise abrangente do estado atual da pesquisa, fornecendo a base necessária para o desenvolvimento da diretriz proposta neste trabalho. Para garantir uma abordagem rigorosa, a revisão foi baseada na metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), reconhecida por sua capacidade de estruturar revisões de forma transparente e replicável *(Moher et al., 2009; Zorzela et al., 2016)*.

3.5.1 Metodologia da Revisão Sistemática

Foi adotado uma abordagem mista para examinar a produção científica e os impactos das pesquisas no campo da gestão da informação no processo de FM com o uso do BIM (Araújo; Pereira Carneiro; Palha, 2020).

Seguindo a metodologia PRISMA, a qual estrutura o processo em quatro etapas: (1) Identificação, (2) Seleção, (3) Elegibilidade e (4) Inclusão, conforme ilustrado na Figura 4.

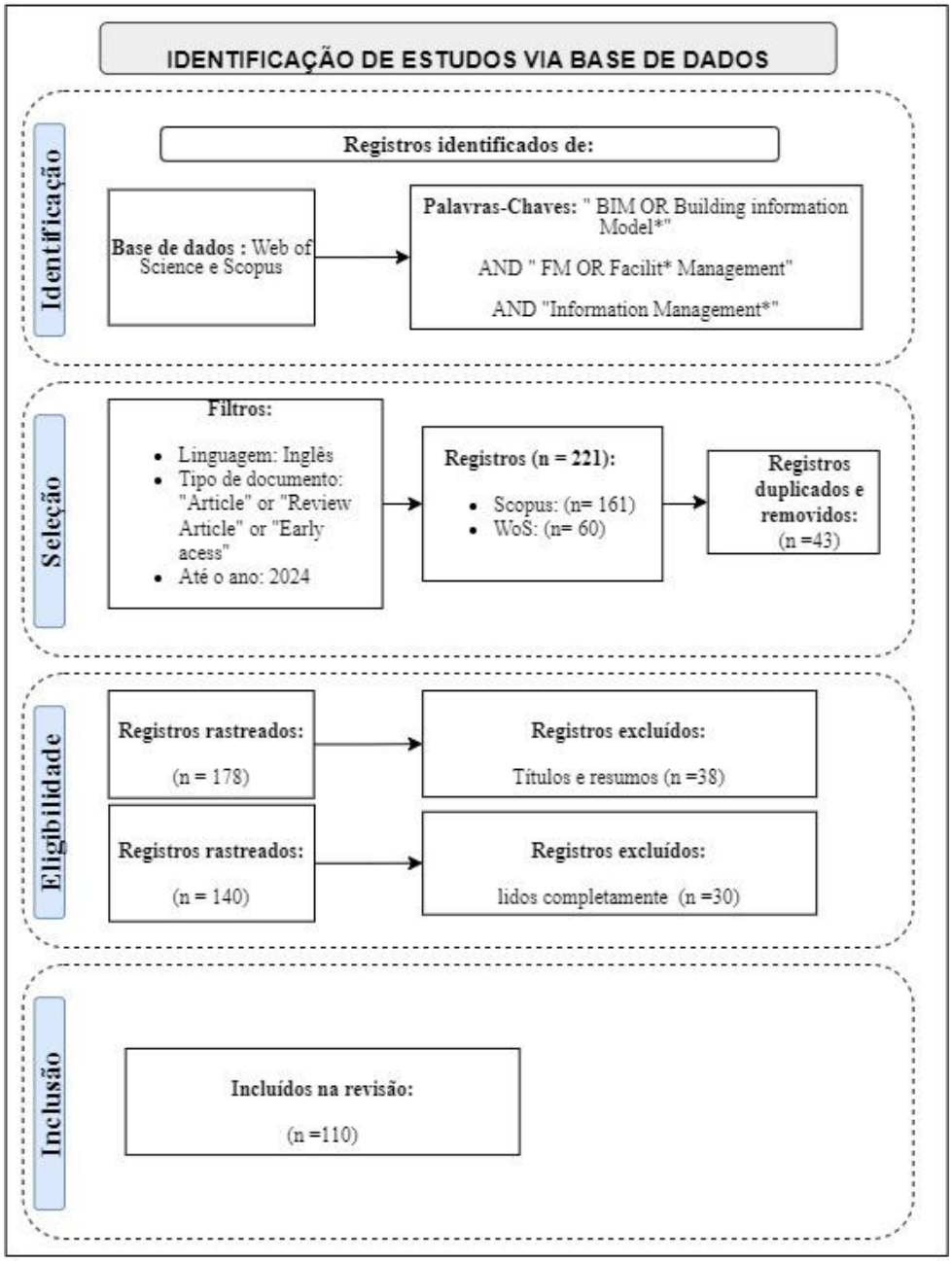

Figura 4 - Fluxo Metodológico da Revisão Sistemática

Fonte: Elaboração própria (2024)

Iniciou-se a etapa de (1) identificação com a utilização das bases de dados da *Web of Science* (WoS) e *Scopus*. Foram definidas e aplicadas as palavras-chave: "BIM OU *Building Information Model**" *AND* "FM OR "*Facilit* Management" AND* "*Information Management**". Estas palavras-chave foram empregadas nos campos de busca entre aspas para abranger termos similares, e utilizando o operador "ou", juntamente com

a aplicação de booleanos para incluir todas as terminações variantes, garantindo, assim, consistência na pesquisa nos bancos de dados e o retorno de todos os artigos relevantes para uma análise confiável. A busca em ambas as bases de dados foi realizada em 10 de setembro de 2024.

Na fase de (2) Seleção, aplicaram-se filtros de idioma, restringindo a busca para o inglês, bem como uma limitação temporal até o ano de 2024, selecionando apenas artigos, artigos de revisão e como opção a mais na Wos artigos de acesso antecipado. Um total de 60 documentos foi retornado pela WoS e 161 documentos pela *Scopus*. Os artigos publicados no intervalo entre os anos de 2008 e 2024. Nesta etapa, empregou-se o RStudio para consolidar as pesquisas das duas bases de dados em um único banco de dados, identificando e removendo 43 documentos duplicados, resultando em um total de 178 artigos para análise nas fases subsequentes. A partir desta fase, optou-se pelo uso do software Mendeley para o gerenciamento de referências.

Na fase de (3) Elegibilidade, os artigos selecionados anteriormente foram submetidos a duas etapas de análise. Inicialmente, os títulos e resumos dos artigos da base de dados foram revisados, descartando aqueles que não estavam diretamente relacionados aos temas: gestão da informação, FM e BIM, resultando em 140 artigos. Posteriormente, os artigos elegíveis foram lidos integralmente e selecionados apenas aqueles que ofereciam contribuições significativas relacionadas à gestão da informação no contexto do FM com o uso do BIM. Desta forma, foram excluídos da análise os artigos que tratavam de forma ampla todas as fases do ciclo de vida do projeto, bem como aqueles que não traziam contribuições diretas para o processo de FM ou apresentavam limitações na abordagem da gestão da informação neste contexto, resultando na exclusão de mais 30 artigos nesta fase. Na etapa final, (4) Inclusão, após a aplicação de todos os filtros e uma análise criteriosa, foram selecionados um total de 110 artigos para serem incorporados à pesquisa, ver Apêndice A.

3.5.2 Resultados Quantitativos e Qualitativos da Revisão sistemática

3.5.2.1Resultados Quantitativos (Bibliometria)

A análise quantitativa foi conduzida com a amostra final de 99 artigos, os quais foram analisados por meio de planilhas contendo informações como títulos, resumos, autores, ano de publicação, periódico, entre outros dados relevantes. Para uma análise mais consistente, o software Rstudio, combinado com o pacote Bibliometrix R, foi empregado, fornecendo um conjunto de ferramentas para mapeamento científico e análise de pesquisas bibliométricas quantitativas (Aria; Cuccurullo, 2017), permitindo a análise das tendências e evoluções nesse campo de pesquisa e a compreensão da amostra por meio de técnicas de mapeamento (Alves; De Carvalho, 2023).

Os resultados da análise bibliométrica revelaram que houve um aumento significativo no número de publicações relacionadas a este tema, como é mostrado na Figura 5. Entre os anos de 2011 e 2024, observa-se um aumento gradual do interesse nessa área, atingindo seu ponto mais alto em 2020, com publicação de 16 artigos. Destaca-se ainda que 70 % das publicações ocorreram nos últimos cinco anos, indicando um desenvolvimento contínuo de interesse no tema da gestão da informação no contexto de FM com uso do BIM.

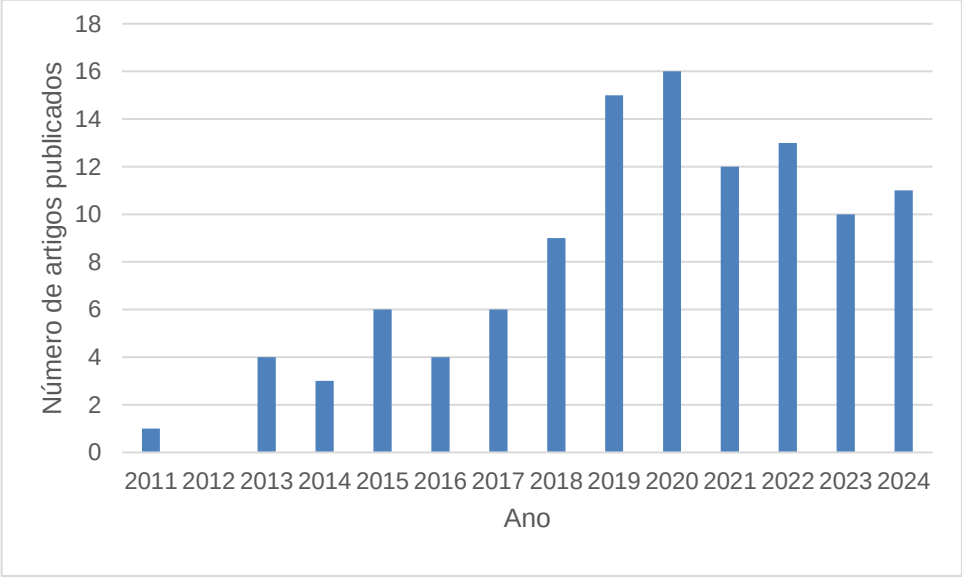

Figura 5 – Número de artigos publicados

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

Ao analisar a evolução ao longo do tempo, nota-se que a maioria das publicações foi concentrada no periódico "*Automation in Construction*", com 26 artigos dos 110 incluídos na amostra. Isso sugere que essa revista desempenha um papel proeminente como fonte de pesquisa nesse campo específico.

A análise bibliométrica revela que BIM, gerenciamento de informações, design arquitetônico, gerenciamento de instalações e edifícios comerciais estão entre as cinco palavras mais recorrentes na amostra. A frequência das palavras-chave pode ajudar no mapeamento da literatura, mas pode ser insuficiente em áreas de pesquisa novas e específicas, onde uma palavra-chave pode ocorrer apenas duas ou três vezes em alguns casos (Matarneh et al., 2019b). No entanto, ao combinar as palavras-chave com os principais interesses, foi possível agrupar as publicações em três clusters distintos, como mostrado na Figura 6. Essa abordagem permitiu a divisão da amostra de pesquisa em três grupos temáticos: (1) Otimização da Gestão de Ativos com Suporte do BIM, (2) Tecnologias de Gestão da Informação em FM com uso do BIM e (3) Comunicação e Gestão da Informação.

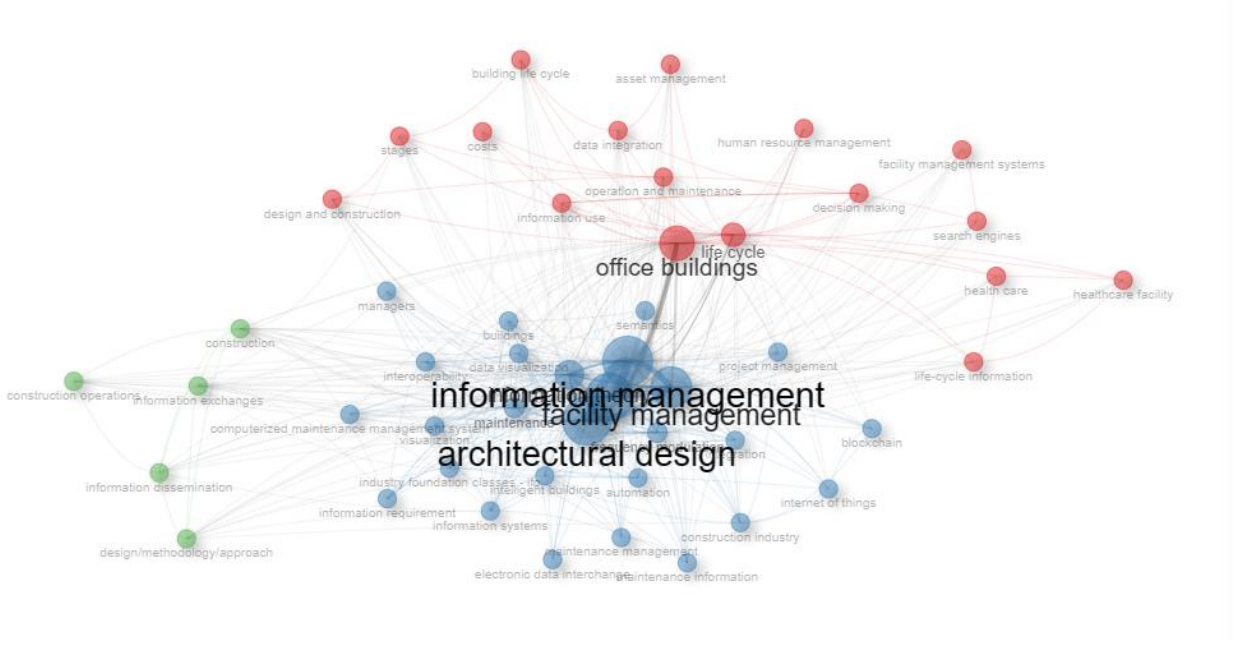

Figura 6 – Mapa de ocorrência de Palavras Chaves

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

A divisão da amostra, como mostrado na Figura 7, revela uma distribuição significativa entre os diferentes grupos. O primeiro grupo dedicado à (1) Otimização da Gestão de ativos com suporte BIM, compreende a 33 % das publicações analisadas, o que indica

um interesse específico da utilização do BIM para melhorar a gestão de ativos e o desempenho desses ativos em diversos contextos.

O segundo grupo, focado em (2) Tecnologias de Gestão da Informação em FM com uso do BIM, abrange a maior parte da amostra, representando cerca de 48% das publicações. Uma análise mais detalhada deste grupo revela que 77% das publicações ocorreram nos últimos cinco anos, indicando um foco predominante na utilização de tecnologias e ferramentas de informação para aprimorar o processo de gerenciamento de instalações. Esse resultado ressalta a importância crescente dessas ferramentas na otimização das operações e manutenções de infraestruturas.

Por fim, o terceiro grupo, relacionado à (3) Comunicação e Gestão da informação, compreende a aproximadamente 19% das publicações., o que indica um interesse na melhoria dos fluxos de comunicação e gerenciamento de informações em contextos relacionados ao gerenciamento de instalações.

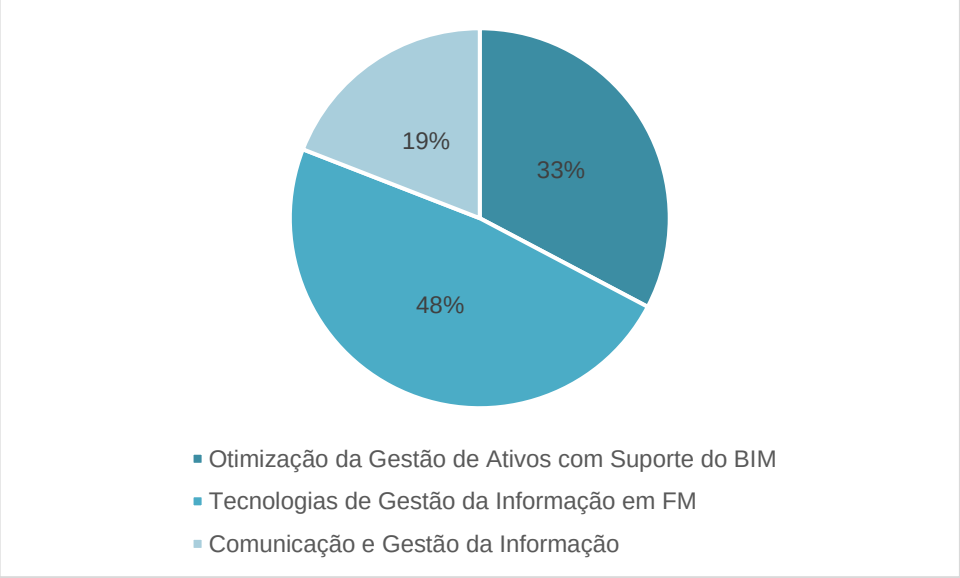

Figura 7 – Distribuição dos artigos em Temas

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

A análise do mapa temático oferece uma exploração mais detalhada dos agrupamentos das tendências de pesquisa. Cada agrupamento de palavras em clusters mostra as relações entre os temas, sendo que quanto mais próximos os clusters estão, maior é a proximidade de pesquisa entre os temas (Aria; Cuccurullo, 2017). Na Figura 8, observamos que o cluster que inclui "*information management*" e

"BIM" está próximo do cluster que aborda "tomada de decisão", evidenciando a relação entre esses temas.

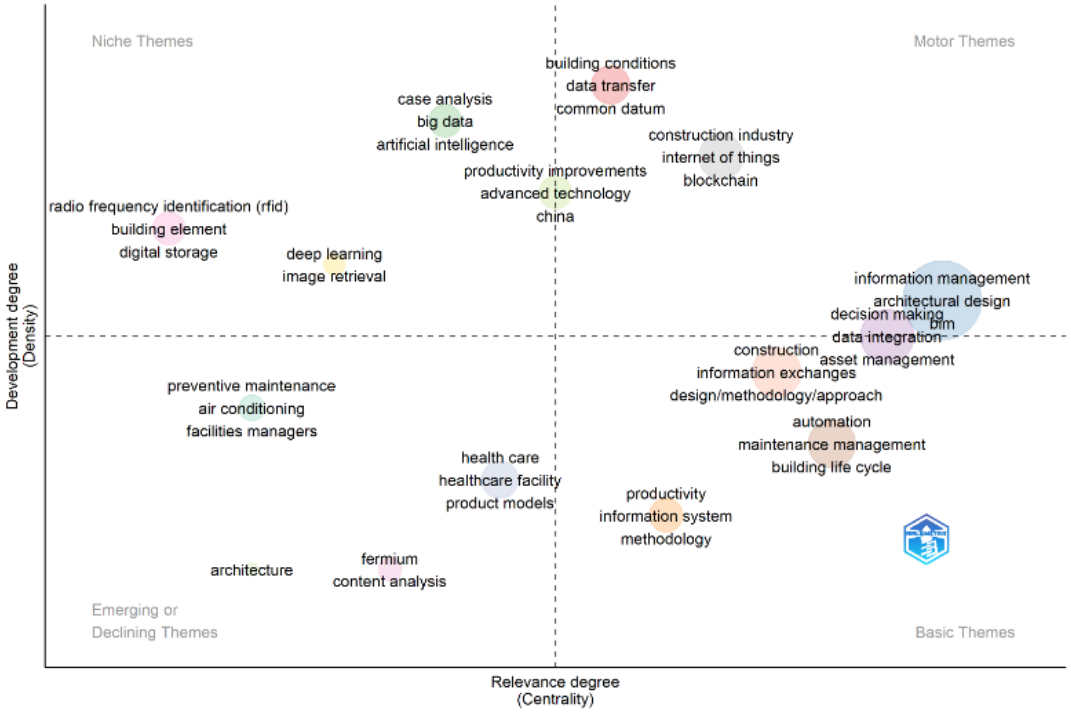

Figura 8 – Mapa Temático

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

3.5.2.2 Resultados Qualitativos (Grupos Temáticos)

A análise dos 110 artigos resultou na identificação de três grupos principais que destacam as boas práticas, desafios e oportunidades relacionadas à gestão da informação no contexto do BIM-FM.

1. Otimização da Gestão de Ativos com Suporte do BIM: A gestão de ativos (AM) envolve o controle de custos, a mitigação de riscos e o suporte ao planejamento financeiro e de atividades ao longo do ciclo de vida das edificações, que pode se estender por décadas (Farghaly et al., 2018; Heaton; Parlikad; Schooling, 2019; Rogage; Greenwood, 2020). O BIM tem se destacado como uma ferramenta essencial para integrar informações relacionadas aos ativos, oferecendo benefícios como a redução de custos operacionais, maior eficiência na execução de ordens de serviço e suporte para a manutenção preventiva e preditiva (Munir et al., 2020b). Para garantir a eficiência da gestão de ativos por

meio do BIM, é fundamental definir claramente os requisitos de informações dos ativos (AIR), que incluem dados gráficos e não gráficos (Farghaly et al., 2018; Greenwood; Kassem, 2016; Kassem et al., 2015). Esses requisitos permitem a criação de um banco de dados integrado, responsável por armazenar e atualizar informações ao longo do ciclo de vida dos projetos. Apesar dos benefícios comprovados, a implementação do BIM na gestão de ativos enfrenta desafios significativos, como problemas de interoperabilidade, barreiras contratuais e altos custos de implantação (Abdirad; Dossick, 2020; Jang; Collinge, 2020). Esses obstáculos apontam a necessidade de maior padronização, colaboração organizacional e superação de barreiras técnicas para maximizar os benefícios do BIM-AM (Farghaly et al., 2018).

2. Tecnologias de Gestão da Informação em FM: As tecnologias são consideradas ativos no contexto do BIM, oferecendo benefícios significativos por meio de dados em tempo real, conectividade de informações e relatórios precisos para proprietários de ativos (Munir et al., 2020a). Essa retenção de informações em formato digital melhora o desempenho dos profissionais de FM (Pärn; Edwards; Sing, 2017). Diversas ferramentas combinam o BIM com sistemas de gestão informatizada para monitorar e operar dados de ativos. Tecnologias emergentes, como plugins para sistemas de FM e comunicações em tempo real, visam reutilizar informações e funcionalidades do BIM, aumentando a eficácia da gestão de informações (Hsieh et al., 2019). Essas tecnologias são fundamentais para superar as limitações de processos manuais e descentralizados, proporcionando maior eficiência. A análise da literatura destaca quatro principais tendências tecnológicas no FM usando BIM: Realidade Aumentada (AR) e Realidade Virtual (VR), Internet das Coisas (IoT), Sistema de Informações Geográficas (GIS) e Blockchain. Essas inovações tecnológicas reforçam a importância de sistemas de informação integrados e seguros, que sejam capazes de suportar o fluxo contínuo de dados em ambientes de manutenção e operação complexos, como universidades públicas e grandes infraestruturas.

3. Comunicação e Gestão da Informação: O BIM facilita essa comunicação ao capturar, rastrear e integrar informações que, frequentemente, encontram-se fragmentadas ao longo dos processos (Lucas; Bulbul; Thabet, 2013). No entanto, a falta de interoperabilidade entre sistemas e a ausência de

> padronização são desafios recorrentes. Quando os dados são armazenados em formatos heterogêneos, como arquivos de texto ou XML, isso pode dificultar a integração e requer o acesso a múltiplos documentos, além de transferências manuais de dados, aumentando os riscos de perda ou inconsistência de informações (Niknam; Karshenas, 2017). Para garantir a precisão dos dados e a interoperabilidade, é essencial estabelecer requisitos claros de troca de dados e visualização de modelos, bem como regras de validação específicas (Lee; Eastman; Solihin, 2018b). Nesse contexto, padrões abertos, como IFC e COBie, são cruciais para promover a colaboração e evitar a perda de informações durante a transferência de dados ao longo do ciclo de vida do edifício (Palha; Hüttl; Da Costa E Silva, 2024; Patacas et al., 2015). Além disso, a utilização da web semântica surge como uma solução promissora para integrar dados provenientes de diferentes domínios, permitindo a criação de redes de dados estruturados que facilitam o compartilhamento e o processamento automático dessas informações (Niknam; Karshenas, 2017).

A revisão sistemática realizada nesta dissertação foi fundamental para identificar as tendências, lacunas e oportunidades na integração do BIM com o FM, com um foco especial na gestão da informação. Os três grupos temáticos analisados — otimização da gestão de ativos, tecnologias emergentes de gestão da informação e comunicação integrada — forneceram a base teórica necessária para o desenvolvimento da diretriz prática e escalável proposta neste trabalho. A revisão evidenciou a importância da padronização dos dados, da interoperabilidade entre sistemas e do uso de tecnologias emergentes, como IoT, APIs e blockchain, para superar os desafios enfrentados por instituições de baixa maturidade tecnológica, como as universidades públicas.

No entanto, as lacunas identificadas demonstram que ainda há barreiras significativas a serem superadas, especialmente em relação à centralização e atualização contínua das informações ao longo do ciclo de vida das edificações.

4 METODOLOGIA

4.1 Estrutura da Metodologia

Esta seção apresenta os métodos e procedimentos empregados para investigar e propor uma diretriz para a gestão da informação com o uso do BIM para Gestão de Instalações em universidades públicas. A diretriz proposta tem como enfoque a padronização de processos, a interoperabilidade entre sistemas e a integração de informações semânticas nos modelos digitais, visando atender às demandas específicas do contexto universitário. Para isso, a metodologia combina uma revisão da literatura, coleta de dados empíricos por meio de questionários e entrevistas, e análise crítica, com o objetivo de desenvolver soluções práticas e adaptáveis para otimizar a gestão da informação.

A Figura 9 mostra como a pesquisa foi desenvolvida:

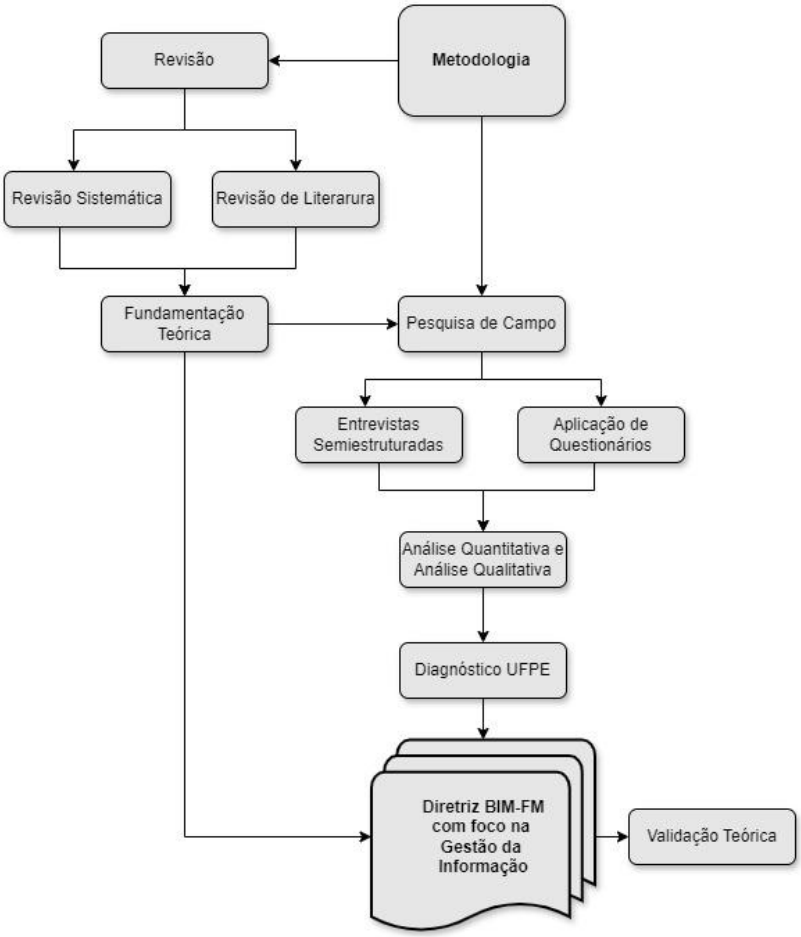

Figura 9 – Fluxograma da Metodologia da Dissertação

Fonte: Elaboração própria (2024)

4.2 Estratégia De Pesquisa De Campo

A estratégia de pesquisa adotada neste estudo combina métodos qualitativos e quantitativos, com o objetivo de explorar, analisar e propor uma diretriz prática para a integração do BIM na Gestão de Instalações em universidades públicas, com foco na gestão da informação. Essa abordagem mista foi escolhida por permitir uma compreensão abrangente e aprofundada dos desafios enfrentados pelas instituições e das oportunidades oferecidas pelo BIM (Fetters; Curry; Creswell, 2013).

Do ponto de vista quantitativo, foi aplicado um questionário estruturado para profissionais do setor da Manutenção da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Este instrumento foi utilizado para coletar dados mensuráveis, como o nível de familiaridade com BIM no processo de Gestão das Instalações, as percepções sobre sua eficiência e os principais desafios para a implementação do BIM no setor de manutenção da universidade. Os resultados foram analisados por meio de estatística descritiva, permitindo identificar padrões e tendências que refletem as condições atuais da gestão da informação na UFPE.

Paralelamente, a abordagem qualitativa incluiu entrevistas semiestruturadas com coordenadores de infraestrutura e máquinas/equipamentos da UFPE. Estas entrevistas permitiram explorar em profundidade questões relacionadas à gestão da informação, como dificuldades no acesso a dados, limitações dos sistemas existentes e perspectivas sobre a integração de soluções do uso do BIM no processo de Gestão das Instalações. As respostas foram transcritas e analisadas por meio de análise de conteúdo, resultando na categorização de temas e insights específicos.

A combinação dessas abordagens permitiu integrar diferentes perspectivas e dimensões do problema, garantindo uma visão mais robusta e fundamentada para o desenvolvimento da diretriz proposta. Enquanto os dados quantitativos forneceram uma visão geral e comparativa do contexto, os dados qualitativos enriqueceram a análise ao oferecerem detalhes sobre as experiências e percepções dos profissionais envolvidos.

Essa estratégia foi planejada para atender às especificidades do contexto de universidades públicas com baixa maturidade BIM, assegurando que as etapas subsequentes do estudo fossem baseadas em evidências empíricas e alinhadas às melhores práticas identificadas na literatura.

4.3 Instrumentos Utilizados

A coleta de dados foi realizada por meio de duas abordagens principais: questionários e entrevistas semiestruturadas, com foco na integração do BIM à Gestão de Instalações, enfatizando a gestão da informação no contexto da UFPE. O objetivo dessa coleta de dados foi compreender as necessidades específicas da universidade para a implementação do BIM na gestão de instalações, contribuindo para a fundamentação da diretriz proposta, que se centra na otimização da gestão da informação.

O questionário foi desenvolvido para avaliar o conhecimento dos profissionais de Gestão de Instalações sobre o BIM e entender suas percepções a respeito da importância e dos desafios da gestão da informação. Aplicado via *Google Forms*, o questionário foi enviado por e-mail aos profissionais da área de manutenção da UFPE, garantindo que as respostas fossem coletadas de forma anônima.

O questionário incluiu perguntas sobre os papéis dos participantes, seu nível de familiaridade com o BIM aplicado à gestão de instalações e sua percepção da eficiência dos processos de manutenção (Apêndice B). Também abordou tópicos como o acesso às informações necessárias para a realização de atividades, o impacto da ausência de softwares de visualização e a necessidade de suporte e recursos para a transição para o uso do BIM, visando identificar quais informações os profissionais consideram essenciais para uma manutenção eficaz.

Além do questionário, foram realizadas entrevistas semiestruturadas pessoalmente com os Coordenadores de Infraestrutura e de Máquinas e Equipamentos. Essas entrevistas foram realizadas para explorar em maior profundidade as questões levantadas no questionário, sempre focando nas necessidades da gestão da informação no contexto do BIM aplicado à gestão de instalações.

O guia de entrevista incluiu tópicos como o estado atual da gestão da informação, o acesso à informação, o uso de softwares de manutenção e as percepções sobre os benefícios e desafios da implementação do BIM. As perguntas abertas durante as entrevistas permitiram que os participantes descrevessem como a gestão da informação é conduzida em seus departamentos, identificassem os principais desafios enfrentados e avaliassem a eficácia dos sistemas de acesso à informação atuais. O guia de entrevista pode ser encontrado no Apêndice C.

4.3.1 Justificativa para as escolhas das perguntas

As perguntas do questionário e das entrevistas foram elaboradas para diagnosticar as necessidades da UFPE na gestão da informação e na implementação do BIM-FM. Baseadas em lacunas identificadas na análise preliminar, abordaram aspectos como familiaridade com o BIM, eficiência da manutenção, necessidade de capacitação e ausência de ferramentas de visualização. A formulação dessas questões seguiu a literatura sobre gestão da informação e adoção do BIM em instituições de baixa maturidade (Patacas; Dawood; Kassem, 2020; Sacks et al., 2018a; Viana; Carvalho, 2020), além de coletar dados sobre acesso à informação e uso de tecnologias essenciais para a gestão de instalações(Chen et al., 2020; Greenwood; Kassem, 2016; Hallberg; Tarandi, 2011; Li et al., 2024).

As entrevistas aprofundaram as questões do questionário, explorando desafios na gestão da informação e na adoção do BIM. Os temas abordados incluíram acesso a dados, comunicação entre setores, uso de softwares de manutenção e percepções sobre o impacto do BIM na eficiência operacional (Matarneh et al., 2020). A seleção desses tópicos considerou o diagnóstico preliminar e a literatura sobre BIM em ambientes públicos. Os dados qualitativos das entrevistas complementaram os quantitativos do questionário, proporcionando uma visão mais ampla sobre barreiras culturais e técnicas à implementação do BIM-FM.

Os resultados evidenciaram a necessidade de diretrizes específicas para a adoção do BIM na gestão de instalações universitárias. Essa compreensão fundamenta a diretriz proposta, que busca otimizar a gestão da informação, melhorar a eficiência das operações de manutenção e garantir sua aplicabilidade em diferentes níveis de maturidade BIM.

4.4 Coleta de Dados

O objetivo dessa coleta foi identificar as necessidades específicas da universidade para a implementação do BIM e contribuir para a fundamentação da diretriz proposta, que visa otimizar a gestão da informação.

Os dados coletados por meio dos questionários e entrevistas forneceram uma visão abrangente da gestão da informação nos processos de manutenção da UFPE, destacando a necessidade de diretrizes específicas para a implementação do BIM na

gestão de instalações em universidades públicas. Essa compreensão é essencial para apoiar a diretriz proposta, que visa otimizar a gestão da informação e melhorar a eficiência das operações de manutenção usando o BIM, garantindo que a diretriz seja adequada para diferentes níveis de maturidade na adoção do BIM.

4.4.1 Procedimentos e Critérios

4.4.1.1 Procedimentos para o questionário

O questionário foi enviado exclusivamente aos profissionais do setor de Manutenção da UFPE, selecionados por sua atuação direta nas atividades de operação e manutenção de instalações. A escolha dessa população-alvo considerou sua experiência prática e conhecimento técnico, essenciais para avaliar os desafios e oportunidades da implementação do BIM na gestão de instalações.

O instrumento foi elaborado no *Google Forms* e distribuído por e-mail, acompanhado de uma explicação clara sobre os objetivos do estudo e um convite para participação voluntária. O envio foi monitorado por duas semanas, período em que lembretes foram enviados para incentivar a adesão. Para garantir que as respostas fossem fundamentadas, adotou-se como critério de elegibilidade a participação de profissionais diretamente envolvidos com a manutenção predial.

4.4.1.2 Procedimentos para as entrevistas

As entrevistas semiestruturadas foram realizadas presencialmente com os coordenadores das áreas de Infraestrutura e Máquinas e Equipamentos da UFPE, devido ao seu papel estratégico no planejamento e gestão das atividades de manutenção. O objetivo foi aprofundar a compreensão sobre as dificuldades no acesso e organização das informações sobre os ativos da universidade, complementando as percepções obtidas no questionário.

As entrevistas ocorreram em um ambiente reservado, garantindo confidencialidade e incentivando uma comunicação aberta. O guia de entrevistas serviu como um roteiro flexível, permitindo adaptações conforme as respostas e os insights dos participantes. Após a transcrição, as respostas foram enviadas por e-mail

para validação, assegurando que a análise do conteúdo refletisse com precisão os pontos de vista dos entrevistados.

4.4.1.3 Critérios de inclusão e exclusão

A seleção dos participantes seguiu critérios de inclusão e exclusão para garantir a relevância das respostas em ambas as etapas.

- Questionário: Participaram seis profissionais do setor de manutenção da UFPE, esses profissionais foram escolhidos por sua atuação direta na operação e manutenção das instalações da universidade.
- Entrevistas: Foram conduzidas duas entrevistas semiestruturadas com os coordenadores das áreas de Infraestrutura e de Máquinas e Equipamentos, responsáveis pela supervisão e tomada de decisões operacionais.

Foram excluídos de ambas as etapas profissionais sem experiência significativa na gestão de instalações ou que desempenhavam apenas funções administrativas sem envolvimento técnico.

4.4.1.4 Ética e anonimato

A pesquisa foi conduzida em conformidade com os princípios éticos da pesquisa acadêmica. Os participantes foram informados sobre o caráter voluntário da pesquisa, a finalidade do estudo e a garantia de anonimato. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido foi disponibilizado previamente, assegurando que os dados coletados fossem utilizados exclusivamente para os fins descritos na pesquisa.

4.5 Análise de dados: Métodos aplicados

A análise dos dados coletados foi realizada por meio de abordagens quantitativas e qualitativas, permitindo uma compreensão abrangente sobre a gestão da informação e as percepções dos profissionais sobre a possível adoção de metodologias digitais na gestão de instalações da UFPE. A abordagem quantitativa foi aplicada aos questionários, utilizando técnicas de estatística descritiva para

identificar padrões e tendências nas respostas dos participantes. Já a abordagem qualitativa foi empregada na análise das entrevistas semiestruturadas, utilizando a análise de conteúdo, conforme Bardin, (2016), para categorizar os principais desafios e percepções dos profissionais entrevistados.

A seguir, são apresentados os métodos específicos aplicados para o tratamento e interpretação dos dados.

4.5.1 Análise quantitativa

Os dados obtidos a partir do questionário foram analisados utilizando estatística descritiva, com o objetivo de identificar padrões e tendências na percepção dos participantes sobre a implementação do BIM na gestão de instalações. Para isso, foram empregados os seguintes métodos:

- Frequência absoluta e relativa, para quantificar o número de respostas em cada categoria e calcular a porcentagem correspondente;
- Distribuições percentuais, organizadas em gráficos e tabelas, permitindo a visualização das variações entre os respondentes;
- Média aritmética, aplicada a determinadas variáveis, permitindo identificar tendências nas percepções sobre o nível de familiaridade com BIM, os desafios enfrentados e a eficiência percebida da gestão de instalações;
- Gráficos de barras e setores, utilizados para representar visualmente os resultados, tornando a interpretação mais intuitiva e comparativa.

Os achados quantitativos forneceram um panorama geral sobre o conhecimento e percepção dos profissionais em relação ao BIM, além de evidenciar desafios estruturais, como a falta de conhecimento técnico, limitações de software e dificuldades de acesso a informações essenciais. Essa análise serviu como base para a investigação qualitativa, aprofundando a compreensão sobre os obstáculos e oportunidades para a implementação do BIM na UFPE.

4.5.2 Análise qualitativa

Os dados qualitativos, oriundos das entrevistas semiestruturadas, foram submetidos à análise de conteúdo, conforme Bardin, (2016), permitindo a identificação de temas recorrentes nas respostas dos entrevistados. Para garantir uma interpretação estruturada e sistemática, as entrevistas foram transcritas integralmente e codificadas, sendo organizadas em categorias principais, tais como:

- Desafios na gestão da informação, incluindo dificuldades no acesso a dados e fragmentação dos sistemas utilizados;
- Percepção sobre o BIM na gestão de instalações, abordando vantagens, resistência à adoção e desafios institucionais;
- Necessidade de capacitação e suporte tecnológico, destacando a falta de treinamento e a necessidade de investimento em infraestrutura digital.

A análise qualitativa permitiu aprofundar a compreensão das barreiras enfrentadas pelos profissionais da UFPE, evidenciando que a implementação do BIM na gestão de instalações enfrenta desafios técnicos, organizacionais e culturais. Outro ponto a ser considerado é que os relatos dos entrevistados reforçaram a importância de diretrizes específicas e estratégias de capacitação para garantir uma transição eficiente para o BIM.

4.5.3 Integração dos resultados

A análise dos dados foi conduzida de maneira integrada, combinando os achados quantitativos e qualitativos para proporcionar uma interpretação mais abrangente da realidade investigada. Essa abordagem, conforme defendida por Fetters; Curry; Creswell, (2013), possibilitou a triangulação das informações, garantindo maior confiabilidade na interpretação dos desafios e oportunidades da adoção do BIM na UFPE.

A correlação entre os dados quantitativos e qualitativos permitiu validar e contextualizar os desafios apontados pelos participantes do questionário com os relatos detalhados das entrevistas. Enquanto os dados quantitativos indicaram tendências e padrões gerais, os dados qualitativos permitiram aprofundar as motivações e dificuldades enfrentadas na prática pelos profissionais da universidade.

Essa integração de métodos possibilitou consolidar os principais achados da pesquisa, servindo como base para o desenvolvimento da diretriz proposta. Os resultados detalhados dessas análises serão discutidos no capítulo seguinte, relacionando os achados da pesquisa com a literatura revisada e propondo recomendações para a implementação eficaz do BIM na gestão de instalações.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implementação do *Building Information Modeling* (BIM) na gestão de instalações (FM) em universidades públicas representa um desafio significativo, especialmente devido à baixa maturidade digital e à fragmentação dos processos administrativos. O presente capítulo discute os achados da pesquisa empírica realizada na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), abordando a situação atual da gestão da informação em instituições públicas, os resultados do questionário e entrevistas, a comparação entre a diretriz original e a diretriz proposta por esse trabalho, além de uma análise crítica sobre a aplicabilidade e os desafios da implementação do BIM-FM.

A discussão é fundamentada nos achados da revisão de literatura, contrastando os resultados obtidos com os desafios e soluções apontados por estudos anteriores. Essa abordagem permite contextualizar os dados empíricos dentro de um arcabouço teórico, consolidando as contribuições desta dissertação para o avanço do conhecimento na área de BIM aplicado à gestão de instalações públicas.

5.1 Análise da situação atual da UFPE

A gestão de instalações na UFPE apresenta desafios semelhantes aos enfrentados por outras instituições públicas em países com baixa maturidade BIM. Estudos indicam que a falta de interoperabilidade entre sistemas de gestão, a resistência organizacional e a ausência de padronização dificultam a adoção do BIM na fase de operação e manutenção (Patacas; Dawood; Kassem, 2020).

O relatório "Mapeamento de Maturidade BIM no Brasil" (Grant Thornton Brasil; Sienge; Agência Brasileira De Desenvolvimento Industrial (ABDI), 2022) revelou que grande parte das instituições públicas brasileiras ainda se encontra nos níveis iniciais de maturidade BIM, o que significa que sua aplicação é majoritariamente limitada a etapas de projeto e construção, sem continuidade na fase de operação e manutenção. Esse cenário se deve, principalmente, à falta de infraestrutura tecnológica, baixa capacitação profissional e resistência à adoção de novas metodologias.

Estudos específicos, como o de Böes; Barros Neto; Lima, (2021), avaliaram a maturidade BIM em Instituições de Ensino Superior no estado do Ceará, incluindo universidades públicas. Os resultados indicaram que a maturidade BIM nessas

instituições varia entre os níveis iniciais e intermediários, evidenciando desafios como a falta de infraestrutura tecnológica, resistência à mudança e necessidade de capacitação especializada.

O uso do BIM no gerenciamento de instalações pode otimizar o acesso às informações, reduzir custos e melhorar a eficiência operacional (Teicholz, 2013, p. 37). No entanto, a falta de integração entre setores e a ausência de ferramentas digitais apropriadas impedem que instituições públicas aproveitem essas vantagens(Singh; Kumar, 2024).

5.1.1 Fragilidades na Gestão da Informação

A gestão da informação na UFPE reflete desafios comuns a muitas instituições públicas brasileiras que lidam com sistemas fragmentados, ausência de padronização na estruturação de dados e dificuldades na integração entre os setores responsáveis pela manutenção e operação das edificações. Como observado na análise da situação atual das universidades públicas (Seção 4.1), a ausência de um fluxo contínuo de informações impacta negativamente a eficiência administrativa e operacional, dificultando a tomada de decisão e aumentando custos com retrabalho e atrasos nas intervenções prediais.

Embora a UFPE disponha de registros sobre sua infraestrutura, a organização e o acesso a essas informações não seguem um modelo consolidado de gestão integrada. Em muitas situações, a informação necessária para a manutenção dos edifícios não está centralizada, obrigando os profissionais a recorrerem a múltiplas fontes, como documentos físicos, planilhas independentes e sistemas desatualizados. Essa realidade compromete a eficiência da gestão predial, dificultando o planejamento de intervenções corretivas e preventivas (Viana; Carvalho, 2020).

Além da fragmentação das informações, há uma desconexão entre os setores internos e as empresas terceirizadas responsáveis pela manutenção predial. Barbosa et al., (2020) apontam que, na UFPE, a comunicação entre os administradores internos e as equipes externas de manutenção ocorre de forma descentralizada, dificultando o alinhamento das demandas e a execução das atividades de forma ágil. Esse problema não se restringe à UFPE, mas é uma tendência observada em outras universidades públicas, onde a falta de normativas específicas e a carência de

ferramentas adequadas para a gestão integrada impactam diretamente a administração das edificações (Araújo; Bastista; Araújo, 2022).

A ausência de um ambiente integrado para a gestão da informação também compromete a adoção de metodologias digitais, como a modelagem de informações da construção para a operação e manutenção. Alsofiani, (2024) aponta que a digitalização dos processos de gestão predial pode reduzir ineficiências e otimizar a alocação de recursos, permitindo que as informações sobre ativos sejam estruturadas de maneira acessível e padronizada. No entanto, para que essa implementação seja viável, é essencial que haja investimentos em capacitação profissional e na modernização dos sistemas institucionais, garantindo que as equipes responsáveis pela manutenção estejam aptas a utilizar novas tecnologias no gerenciamento de edificações.

Outro desafio é a baixa interoperabilidade entre sistemas digitais, que impede o fluxo contínuo de informações e a automação de processos. Segundo *Sampaio et al. (2023)***,** muitas universidades ainda utilizam softwares incompatíveis entre si, tornando a integração dos dados um desafio técnico e organizacional. Essa dificuldade afeta diretamente a eficiência da manutenção predial, pois os profissionais responsáveis não conseguem acessar informações atualizadas de forma rápida e estruturada.

Diante desse cenário, a implantação de um modelo estruturado de gestão da informação torna-se essencial para aprimorar os processos de manutenção e operação das edificações na UFPE. A transição para um sistema mais eficiente depende, portanto, da adoção de padrões de interoperabilidade, do desenvolvimento de políticas institucionais que promovam a digitalização dos dados e do fortalecimento da integração entre os setores internos e os fornecedores de serviços terceirizados. A aplicação dessas medidas pode viabilizar a redução de ineficiências, a otimização dos processos de manutenção e a melhoria da gestão dos ativos físicos da universidade (Grant Thornton Brasil; Sienge; Agência Brasileira De Desenvolvimento Industrial (ABDI), 2022).

5.2. Resultados do questionário e entrevistas

A presente seção apresenta a análise dos dados obtidos por meio do questionário aplicado aos profissionais de manutenção da UFPE e das entrevistas

semiestruturadas realizadas com os coordenadores de infraestrutura e de máquinas e equipamentos. O objetivo é identificar as percepções e desafios enfrentados pelos profissionais quanto à gestão da informação e à adoção de metodologias digitais para aprimorar os processos de manutenção predial.

5.2.1 Resultados do questionário

A análise dos dados coletados por meio dos questionários permitiu compreender as percepções dos profissionais de manutenção sobre a gestão da informação, as limitações enfrentadas e as possibilidades para a implementação do BIM-FM no contexto da UFPE. Todos os profissionais convidados para participar do questionário responderam à pesquisa, resultando em uma taxa de resposta de 100%. Os resultados foram analisados utilizando métodos de estatística descritiva, como frequência absoluta e relativa, média aritmética e gráficos para facilitar a interpretação dos dados.

Os participantes foram inicialmente questionados sobre seu cargo ou função na UFPE, e cada um se identificou com um dos seguintes cargos: Arquiteto(a), Engenheiro(a) Civil, Engenheiro(a) Mecânico(a), Assistente em Administração ou Mestre de Edificações e Infraestrutura. Essa composição reflete a diversidade da equipe de manutenção e permite uma análise mais abrangente da implementação do BIM-FM, considerando diferentes perspectivas e responsabilidades dentro da gestão de instalações.

Quando questionados sobre o seu nível de familiaridade com o conceito de BIM-FM, os resultados mostraram que a familiaridade com a metodologia é limitada. De acordo com a análise das respostas, conforme Tabela 1, 33,33% dos participantes se declararam "Não familiarizados", 33,33% "Pouco familiarizados", e 33,33% "Familiarizados", o que sugere uma necessidade clara de capacitação sobre o conceito e suas aplicações na gestão de instalações. A distribuição das respostas é representada na tabela abaixo, que mostra a frequência absoluta e relativa das respostas. Esse dado é crucial para entender a disposição dos profissionais para adotar novas metodologias, como o BIM-FM, e reflete a lacuna existente no conhecimento técnico sobre o tema.

Tabela 1 – Grau de familiaridade com a tecnologia BIM

Resposta	Frequência Absoluta	Frequência Relativa (%)
Não familiarizado	2	33.33%
Familiarizado	2	33.33%
Pouco familiarizado	2	33.33%

Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

Com relação a percepção sobre a eficiência do BIM-FM revelou que, embora os participantes reconheçam o potencial do BIM-FM para melhorar a gestão de instalações, a falta de compreensão total sobre o conceito representa um desafio para sua adoção plena. Isso fica claro no fato de que cinco dos seis participantes acreditam que a implementação do BIM-FM pode de fato aumentar a eficiência da gestão das instalações, mas não possuem o conhecimento técnico necessário para implementá-lo eficazmente, conforme ilustrado na Figura 10.

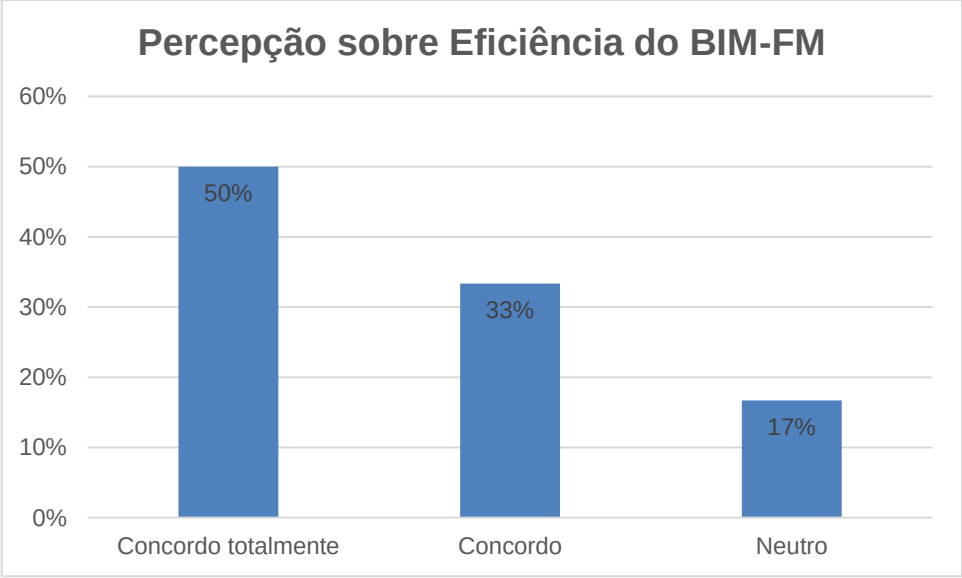

Figura 10 – Percepção sobre a eficiência do BIM-FM

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

Quanto aos desafios para a implementação do BIM-FM, os resultados indicaram que os principais obstáculos enfrentados pelos profissionais de manutenção são a falta de conhecimento sobre a metodologia, as limitações de recursos

financeiros e a resistência à mudança por parte dos funcionários. Esses fatores destacam a importância de um planejamento estratégico que contemple, além da capacitação técnica, a superação das barreiras culturais e a promoção de um suporte administrativo adequado, como pode ser observado no Figura 11. Esses resultados sublinham a necessidade de um plano estratégico que inclua capacitação e superação das resistências culturais, além de um suporte administrativo adequado.

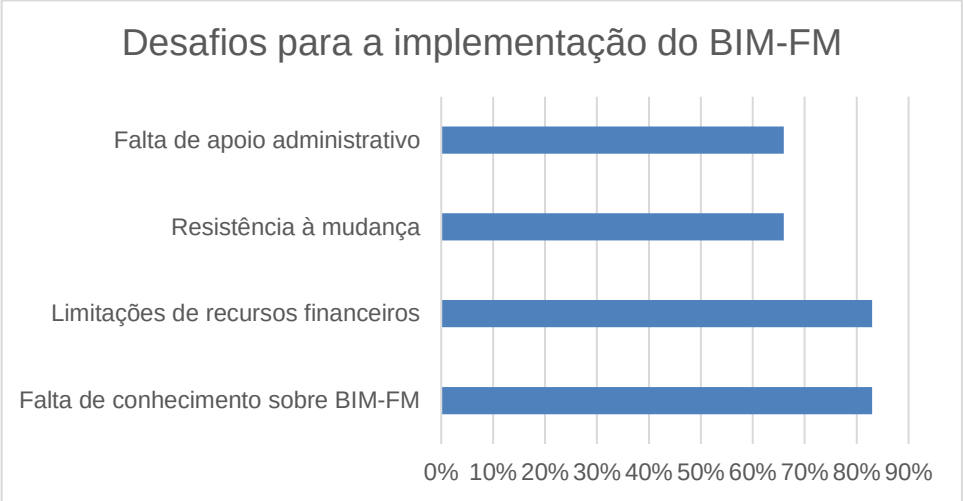

Figura 11 – Desafios para a implementação do BIM-FM

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

Um outro ponto abordado no questionário foi o impacto do processo atual de obtenção de informações, ilustrado na Figura 12. Os respondentes expressaram que o processo, que depende de solicitações a outros departamentos, prejudica a eficiência do trabalho de manutenção. A ausência de um sistema integrado de informações dificulta a tomada de decisões rápidas e precisas. A implementação de um sistema de gestão de dados mais integrado, que permita o acesso ágil a informações essenciais para a manutenção, foi indicada como uma possível solução para este problema.

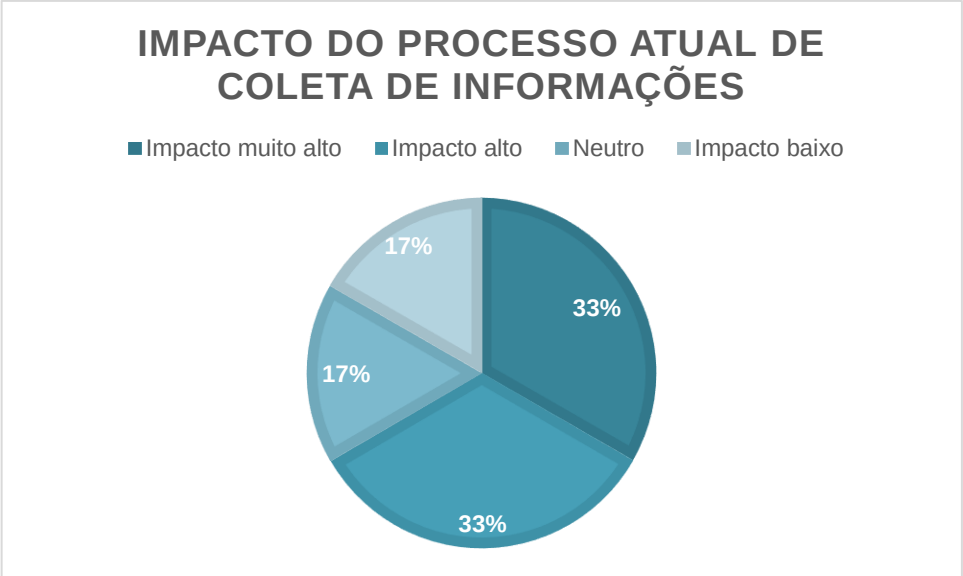

Figura 12 – Impacto do Processo atual de coleta de informações

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

Em relação à falta de outras informações não listadas no questionário, a maioria dos participantes não indicou grandes lacunas além das mencionadas, mas alguns destacaram a necessidade de informações mais detalhadas sobre o "tombamento de equipamentos". Essa sugestão reflete uma preocupação com a gestão eficiente de ativos, indicando que o BIM-FM, ao integrar dados sobre equipamentos e sua localização, pode potencializar a gestão de manutenção predial.

Outro dado importante foi sobre o impacto da falta de ferramentas de visualização, como AutoCAD e Revit, nas operações de manutenção. A média aritmética das respostas foi de 3.33, o que indica que, em média, os participantes consideram o impacto da falta dessas ferramentas como alto. Essa pontuação reflete o quanto a ausência dessas ferramentas é vista como um impedimento para a adoção do BIM-FM na gestão de instalações. A conversão das respostas textuais para valores numéricos (1 para "Impacto baixo", 2 para "Impacto médio", 3 para "Impacto alto" e 4 para "Impacto muito alto") facilitou o cálculo da média e a análise do impacto dessas lacunas tecnológicas. A Figura 13 a seguir ilustra a distribuição percentual das respostas, evidenciando que a maioria dos participantes classifica o impacto como alto ou muito alto.

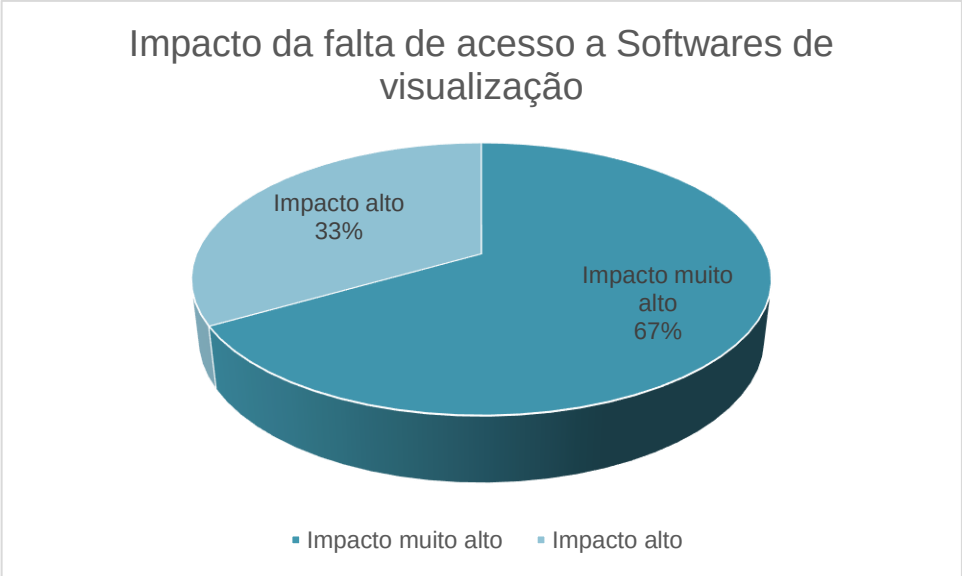

Figura 13 – Impacto falta de acesso a Softwares de visualização

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

Além disso, a falta de acesso ao histórico de manutenção foi identificada como um fator crítico para a eficiência das operações de manutenção. A maioria dos participantes considerou a ausência desse histórico como um problema significativo, que compromete a tomada de decisões durante o processo de manutenção. A implementação de uma plataforma centralizada que armazene o histórico completo das manutenções realizadas poderia melhorar a gestão e proporcionar uma visão mais ampla e precisa da condição das instalações.

Quanto às informações consideradas essenciais para otimizar o processo de manutenção, os participantes destacaram que a localização dos componentes e as especificações técnicas dos elementos são as mais relevantes, conforme Figura 14. Esses dados são fundamentais para garantir a realização eficiente das manutenções, visto que a localização precisa dos componentes facilita a execução das atividades e as especificações técnicas garantem a adequada operação dos sistemas. Por outro lado, manuais de instruções e relatórios de testes de manutenção foram considerados de menor relevância, indicando que os profissionais priorizam informações mais diretamente ligadas ao funcionamento das instalações.

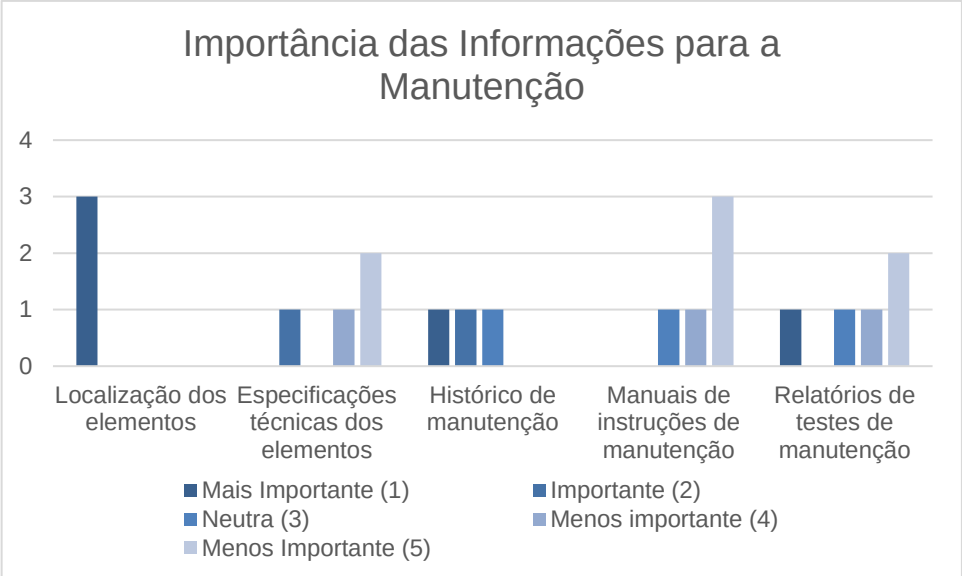

Figura 14– Importância das Informações para a Manutenção

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

Por fim, em relação ao apoio necessário para facilitar a transição para o BIM-FM, todos os participantes mencionaram que a implementação bem-sucedida do BIM-FM depende de treinamento e capacitação adicionais, bem como de investimentos em tecnologia e infraestrutura. Esses resultados indicam que, além de uma mudança na cultura organizacional, será necessário um esforço substancial para prover os recursos técnicos e humanos necessários para a transição para o BIM-FM. Os dados indicam que, sem um plano estruturado de capacitação e suporte contínuo, a implementação não será plenamente bem-sucedida.

5.2.2 Resultados das entrevistas

A análise qualitativa foi realizada com base nas entrevistas semiestruturadas conduzidas com os Coordenadores de Infraestrutura e de Máquinas e Equipamentos da UFPE. As transcrições das entrevistas foram examinadas por meio da técnica de análise de conteúdo, permitindo a identificação de temas recorrentes relacionados aos desafios na gestão da informação e à percepção sobre a adoção do BIM para a gestão de instalações.

A Figura 15 representa visualmente os temas mais recorrentes nas entrevistas. As palavras que aparecem com maior destaque refletem as questões-chave identificadas pelos entrevistados, como "gestão da informação", "acesso",

"comunicação", "BIM", entre outras, que ilustram os principais desafios e áreas de oportunidade.

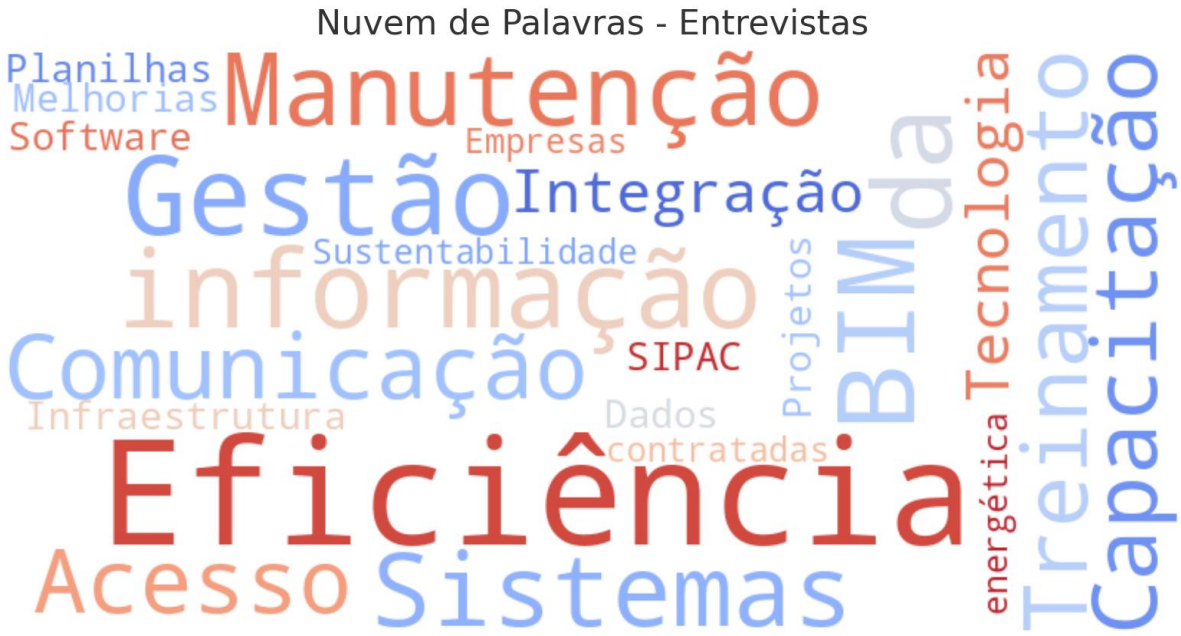

Figura 15 – Nuvem de Palavras.

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

Os entrevistados relataram que a gestão da informação se apresenta inadequada, caracterizada pela falta de comunicação entre os setores de projeto e obra. O Coordenador de Infraestrutura destacou a carência de informações atualizadas, especialmente em relação aos projetos *as built*, o que compromete a eficácia da gestão. O uso do sistema SIPAC (Sistema Integrado de Patrimônio, Administração e Contratos), considerado insuficiente para atender às necessidades do departamento, também foi um ponto de preocupação. O Coordenador de Máquinas e Equipamentos mencionou que a gestão da informação é realizada principalmente por meio de planilhas no Google, o que aumenta o risco de erros e dificulta a recuperação de dados.

Ambos os profissionais identificaram o acesso à informação como um desafio crítico. O Coordenador de Infraestrutura explicou que os funcionários precisam realizar investigações em campo para entender as situações que requerem manutenção, devido à falta de acesso a projetos. Essa condição gera atrasos e ineficiências. O Coordenador de Máquinas e Equipamentos enfatizou que a

comunicação com as empresas contratadas é dificultada pelo fato de que todos os dados são geridos por planilhas, comprometendo o fluxo de informações essenciais para a tomada de decisões rápidas e precisas.

Os entrevistados expressaram uma compreensão mista sobre o potencial do BIM na gestão da informação. O Coordenador de Infraestrutura reconheceu que a metodologia BIM poderia facilitar o acesso a informações centralizadas, melhorando, assim, a eficiência da gestão de instalações. No entanto, ele também ressaltou os desafios relacionados à mudança de cultura organizacional e à necessidade de treinamento adequado para a equipe. Por outro lado, o Coordenador de Máquinas e Equipamentos não se considerou familiarizado com o conceito de BIM, o que ilustra a necessidade de capacitação e sensibilização adicionais sobre os benefícios dessa metodologia.

Ambos concordaram que melhorias significativas são necessárias na gestão da informação. O Coordenador de Infraestrutura sugeriu a implementação de um sistema completo de gestão de manutenção que integrasse a metodologia BIM, facilitando tanto o acesso quanto a gestão das informações. O Coordenador de Máquinas e Equipamentos propôs a adoção de um software que unisse dados de diversas fontes, incluindo informações das empresas contratadas, para otimizar a comunicação e o fluxo de dados.

A análise revelou uma forte necessidade de apoio na transição para o BIM-FM, com ambos os profissionais destacando a importância de treinamento e capacitação adicionais, além da necessidade de investimentos em tecnologia e infraestrutura. A falta de clareza em relação às responsabilidades e ao escopo das atividades de manutenção foi identificada como um fator que pode prejudicar a adoção bem-sucedida do BIM-FM.

Em suma, a análise qualitativa proporciona uma visão aprofundada dos desafios enfrentados pelos profissionais de FM na UFPE em relação à gestão da informação e à adoção do BIM-FM. Os dados sugerem que, para garantir uma implementação eficaz do BIM-FM, será fundamental superar as barreiras culturais, investir em capacitação e criar um sistema de informação centralizado que atenda às necessidades dos profissionais.

A diretriz proposta foi elaborada com base nos achados da pesquisa, que incluiu tanto a análise quantitativa dos questionários quanto os insights qualitativos das entrevistas e uma revisão da literatura realizada anteriormente revelou uma série

de melhores práticas e lacunas existentes na integração do BIM com FM, especialmente a área de pesquisa da gestão da informação, devido à necessidade constante de atualização dos dados coletados e utilizados no processo de O&M (operação e manutenção) (Matarneh et al., 2019b; Morais; Almeida Filho; Palha, 2024; Oraskari et al., 2024). Esses elementos forneceram um contexto relevante e ajudaram a moldar as etapas da diretriz, garantindo que ela não apenas abordasse as necessidades específicas da UFPE, mas também se alinhasse às práticas reconhecidas no campo (Hsieh et al., 2024; Jia; Ma; Zhang, 2024; Lucas; Bulbul; Thabet, 2013; Wang et al., 2021).

5.3. Comparação da Proposta de Implementação do BIM-FM com Foco na Gestão da Informação

A implementação de um modelo digital para a gestão da informação em instituições de ensino superior requer um planejamento estruturado e adaptável às particularidades institucionais. A proposta inicial desenvolvida foi baseada no modelo "*A 6-Step Systematic Process for Model-Based Facility Data Delivery*" (Thabet; Lucas, 2017b), que estabelece diretrizes para a digitalização das informações de instalações com foco em manutenção predial.

Entretanto, conforme demonstrado na análise da situação das universidades públicas (tópico 4.1) e nos resultados do questionário e das entrevistas (tópico 4.2), verificou-se que esse modelo precisava de adaptações para atender às especificidades das instituições de ensino superior com baixa maturidade digital. Diante disso, foi elaborada uma diretriz aprimorada denominada Diretriz para Implementação do BIM-FM com Foco na Gestão da Informação, visando oferecer um modelo mais flexível, acessível e alinhado à realidade das universidades.

Este tópico compara a proposta dos autores supracitados com a diretriz aprimorada e apresentada neste trabalho, destacando as principais modificações realizadas, suas justificativas e os impactos dessas adaptações. A análise fundamenta-se nas dificuldades apontadas pelos profissionais de manutenção entrevistados e nas diretrizes estabelecidas pela literatura acadêmica sobre gestão digital da informação.

5.3.1 Descrição da Diretriz BIM-FM com foco na gestão da informação

A proposta original foi concebida com base no modelo de seis etapas proposto por Thabet e Lucas (2017b), estruturado para a entrega sistemática de dados das edificações no contexto da manutenção predial. Esse modelo estabelece um fluxo contínuo para a digitalização das informações e inclui as seguintes etapas:

1. Definição do caso de negócio para a digitalização da manutenção – Identificação dos benefícios estratégicos e justificativas para adoção de um sistema digital na gestão das edificações.
2. Análise das necessidades de dados – Levantamento das informações essenciais para a operação e manutenção, garantindo que os requisitos informacionais sejam atendidos.
3. Definição do formato de entrega dos dados – Padronização da estrutura da informação, utilizando modelos abertos e interoperáveis, como o formato IFC e a estrutura COBie.
4. Implementação de mecanismos de transferência de dados – Utilização de ferramentas para garantir a interoperabilidade entre plataformas digitais e os sistemas de manutenção predial.
5. Publicação de diretrizes para a digitalização da manutenção – Desenvolvimento de normas e padrões institucionais para garantir a adoção contínua do modelo digital.
6. Revisão e atualização das informações – Definição de procedimentos que assegurem a integridade e a atualização dos dados ao longo do ciclo de vida da edificação.

Embora essa abordagem fosse abrangente e estruturada, a análise do contexto das instituições de ensino evidenciou desafios específicos para sua aplicação, especialmente em ambientes com baixo nível de maturidade digital. A necessidade de adaptação foi identificada com base na literatura e em estudos empíricos que apontam dificuldades na implementação de sistemas digitais em instituições públicas (Ismail et al., 2023; Patacas; Dawood; Kassem, 2020).

5.3.2 Principais Modificações e Justificativas

A partir da análise das limitações da proposta original, foram feitas modificações estruturais na diretriz proposta, visando adequá-la ao contexto das instituições de ensino. As principais adaptações incluem:

- Consideração do baixo nível de maturidade digital e da gestão da informação: A proposta original partia do pressuposto de que a instituição já possuía uma base consolidada de processos digitais, o que não reflete a realidade de muitas universidades. Dessa forma, a diretriz aprimorada propõe uma implementação gradual, incluindo etapas de capacitação, transição progressiva dos sistemas existentes e adoção escalonada das tecnologias. Pesquisas indicam que a maturidade digital nas instituições de ensino varia significativamente, e uma transição progressiva garante maior adesão e eficiência operacional (Liu et al., 2021; Luiz Da Silva; Lopes Vieira; Vasconcelos Silva, 2024).
- Simplificação do ambiente comum de dados (CDE) para otimizar a gestão da informação: Ao contrário da proposta original, que previa a implantação de um CDE robusto desde o início, a diretriz adaptada sugere uma estrutura inicial simplificada, priorizando ferramentas acessíveis e amplamente utilizadas, como plataformas de código aberto e soluções gratuitas (exemplo: IFC.js, *OpenProject* BIM, *Speckle* e BIMData.io). Essa abordagem minimiza barreiras financeiras e facilita a implementação, garantindo que a digitalização ocorra de maneira eficiente e progressiva. Estudos apontam que a complexidade dos CDEs pode ser um fator limitante para sua adoção em instituições com baixa maturidade digital (Succar; Kassem, 2015; Toyin et al., 2024)).
- Flexibilização dos processos de catalogação de ativos e estruturação da informação: A diretriz aprimorada propõe um modelo mais flexível para a organização dos dados, priorizando informações críticas para a manutenção e permitindo a adaptação progressiva dos registros institucionais. Essa abordagem assegura uma base de dados confiável e alinhada com as necessidades operacionais. Trabalhos recentes destacam que a padronização dos dados deve ser ajustada à realidade da instituição para evitar resistência e maximizar a eficiência da digitalização(Benn; Stoy, 2023; Desbalo et al., 2024a; Patacas et al., 2015).

A comparação entre a proposta original e a diretriz aprimorada reforça a necessidade de estratégias personalizadas para a implementação da digitalização da

gestão da informação em instituições de ensino superior. As adaptações realizadas foram fundamentais para superar as limitações identificadas, garantindo que a diretriz proposta seja viável dentro do contexto de baixa maturidade digital das universidades públicas. Ao priorizar uma abordagem progressiva e adaptável, a nova diretriz possibilita uma transição mais eficiente para a digitalização da manutenção predial, promovendo a interoperabilidade e facilitando a gestão de ativos.

Nesse sentido, ao alinhar-se às dificuldades apontadas pelos profissionais entrevistados e às boas práticas descritas na literatura, a diretriz se apresenta como um modelo replicável e escalável, capaz de otimizar a estruturação das informações e a acessibilidade dos dados. Esse processo não apenas aprimora a manutenção dos edifícios universitários, como também estabelece as bases para uma cultura organizacional voltada à gestão integrada de informações e à modernização dos sistemas institucionais.

6 DIRETRIZ BIM-FM COM FOCO NA GESTÃO DA INFORMAÇÃO

A implementação da Modelagem da Informação da Construção (BIM) integrada à Gestão de Instalações (FM - *Facilities Management*) representa um marco na modernização dos processos operacionais e na otimização da gestão de informações em universidades públicas. Este capítulo apresenta uma diretriz detalhada que busca adaptar soluções tecnológicas e metodológicas às necessidades específicas das instituições de ensino superior.

A diretriz proposta foi concebida com caráter escalável e adaptável à realidade das universidades públicas, considerando suas limitações operacionais e diferentes níveis de maturidade em BIM. Sua implementação não requer a adoção simultânea de todas as etapas, mas pode ocorrer de forma gradual e estruturada, seguindo a sequência metodológica estabelecida. Dessa forma, cada instituição pode avançar conforme sua capacidade técnica e disponibilidade de recursos, garantindo que cada fase seja consolidada antes da transição para a etapa subsequente. Essa abordagem progressiva assegura uma implementação viável e sustentável, permitindo que as universidades ajustem a diretriz às suas necessidades específicas, sem comprometer sua efetividade.

Segue a Figura 16 que ilustra a estrutura da diretriz proposta:

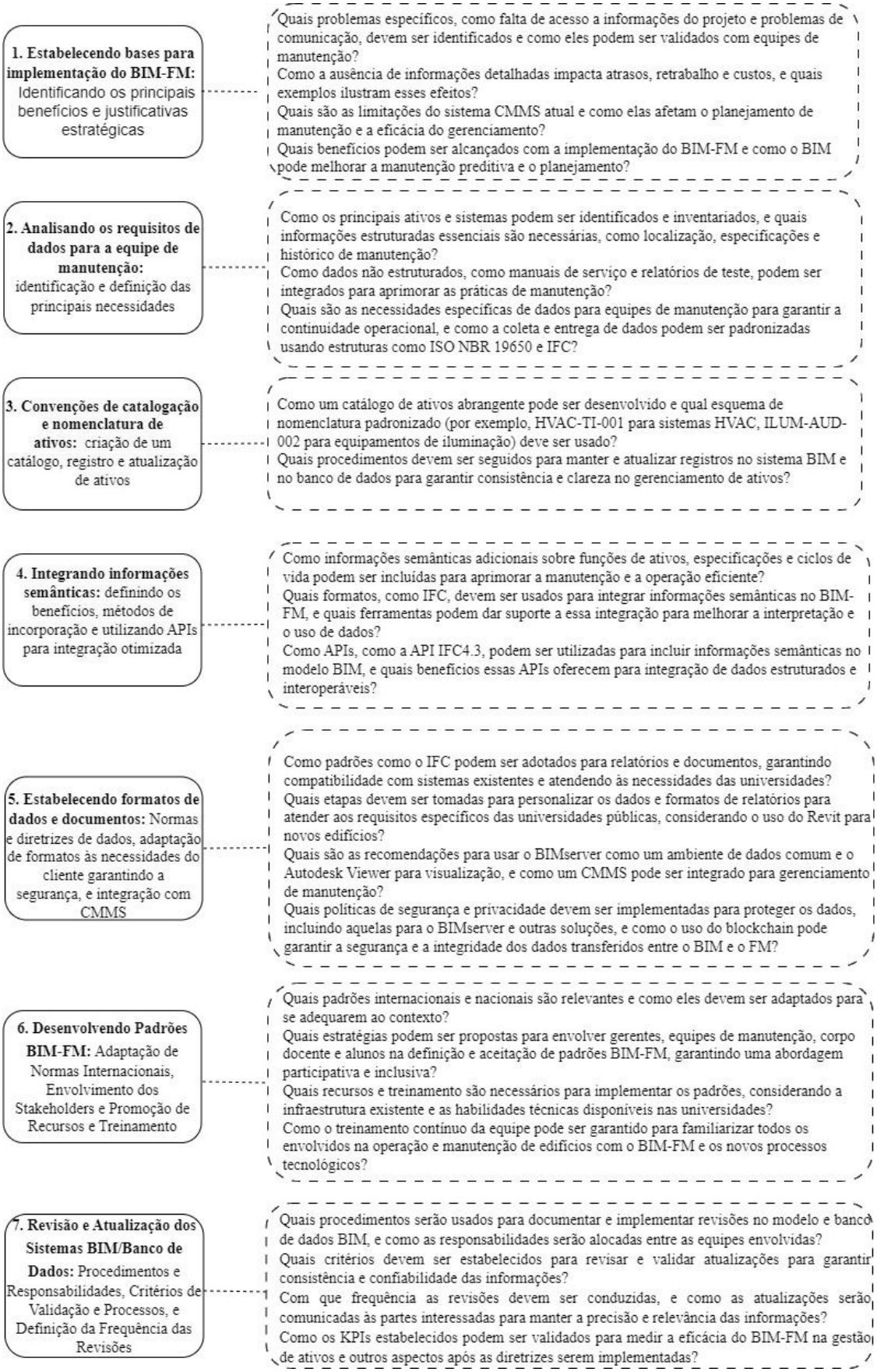

Figura 16 – Diretriz BIM-FM com foco na Gestão da Informação

Fonte: Elaboração própria (2024)

Cada uma das etapas descritas a seguir foi elaborada considerando as demandas específicas das universidades públicas e fundamentada em literatura acadêmica e estudos recentes.

6.1 Estabelecendo a base para a implementação do BIM-FM: Identificando os principais benefícios e justificativas estratégicas

A implementação do BIM-FM em universidades públicas, como a UFPE, apresenta uma solução estratégica para resolver os problemas de gestão de ativos e manutenção predial, especialmente considerando o contexto de baixa maturidade BIM existente na instituição (Carrasco et al., 2024; Pinti; Codinhoto; Bonelli, 2022). Embora o conceito de BIM seja reconhecido globalmente como uma prática eficiente para a gestão de construção e ativos, a UFPE, assim como muitas outras universidades públicas brasileiras, enfrenta desafios no processo de implementação devido à baixa maturidade BIM (Böes; Barros Neto; Lima, 2021b). Isso significa que a universidade ainda está nos estágios iniciais de adoção do BIM, com limitações em termos de processos, tecnologias e integração de dados entre os diversos sistemas utilizados na gestão predial (Patacas et al., 2015; Thabet; Lucas, 2017a).

A baixa maturidade BIM implica que a UFPE enfrenta dificuldades significativas, como a fragmentação de dados, a falta de padronização de processos e a ausência de uma plataforma integrada de gestão de ativos. Segundo Viana e Carvalho, (2020), a baixa maturidade BIM em instituições de ensino superior pode resultar em uma gestão ineficiente de ativos e na incapacidade de aproveitar os benefícios do BIM-FM, o que agrava problemas operacionais, como atrasos na manutenção e custos elevados. Essas ineficiências resultam em atrasos, retrabalho e aumento de custos, conforme apoiado pela literatura (Patacas; Dawood; Kassem, 2020; Wang; Abdul-Samad; Salleh, 2024).

No contexto da UFPE, a falta de sistemas integrados de gestão de manutenção computacional (CMMS) e a escassez de plataformas BIM plenamente implementadas em todas as suas operações são desafios evidentes. Estudos apontam que a introdução gradual de BIM-FM pode ajudar a superar essas dificuldades, permitindo que a universidade transite de um modelo de gestão reativa para um modelo proativo

de manutenção (Munir et al., 2020b; Shalabi; Turkan, 2017). Contudo, é importante ressaltar que essa transição exigirá esforços substanciais em termos de treinamento, adaptação de processos e integração tecnológica (Li et al., 2024).

A literatura também destaca que a adoção de um sistema BIM-FM pode reduzir significativamente os custos operacionais e melhorar a eficiência na tomada de decisões, mas que, em um contexto de baixa maturidade BIM, a implementação bem-sucedida depende de um esforço coordenado para superar as limitações tecnológicas e culturais da instituição (Viana; Carvalho, 2020). Böes; Barros Neto; Lima, (2021) discutem que universidades com baixa maturidade BIM precisa começar com uma estruturação cuidadosa dos dados e o estabelecimento de padrões mínimos de interoperabilidade, como o IFC e o ISO 19650, para permitir a integração dos dados de ativos em uma plataforma centralizada (Böes; Barros Neto; Lima, 2021b; Kim et al., 2018; Ozturk, 2020).

A ISO NBR 19650 é uma série de normas internacionais para gerenciar informações ao longo do ciclo de vida de um ativo construído usando BIM. Ela padroniza o manuseio de dados e garante o fluxo adequado de informações em diferentes fases. Enquanto isso, o IFC é um padrão aberto e internacional para troca de dados BIM, garantindo a interoperabilidade entre diferentes plataformas de software. O uso dessas normas garante que os dados sejam gerenciados de forma segura e interoperável, conforme enfatizado por pesquisas anteriores (Jia; Ma; Zhang, 2024).

A utilização do BIM-FM na UFPE, portanto, oferece uma oportunidade única para transformar a gestão de ativos, otimizar os processos de manutenção e reduzir custos, ao mesmo tempo em que permite uma gradual elevação da maturidade BIM. Viana et al. (2020) apontam que a adoção de BIM-FM em contextos de baixa maturidade pode ser desafiadora, mas é um passo essencial para garantir que a universidade aproveite todo o potencial das tecnologias emergentes de gestão de ativos. O planejamento de manutenções preventivas, a redução de custos operacionais e a eficiência na comunicação entre as equipes de manutenção e gestão são alguns dos benefícios estratégicos que a implementação do BIM-FM pode trazer, uma vez que a universidade tenha superado as barreiras iniciais de baixa maturidade BIM (Kamal; Taghaddos; Karimi, 2021).

destacam a importância de adaptar o processo de implementação do BIM-FM ao nível de maturidade BIM de cada instituição. No caso da UFPE, isso significa que

a implementação do BIM-FM deverá ser feita de forma gradual e adaptada, com um foco inicial na coleta e centralização de dados essenciais, como a localização dos ativos, suas especificações técnicas e históricos de manutenção, para, depois, evoluir para a integração com sistemas de manutenção e automação.

Em complemento, é fundamental que a UFPE invista em capacitação e treinamento das equipes de manutenção e gestão para garantir que o processo de adoção do BIM-FM seja bem-sucedido. Succar, (2010)sugere que, em contextos de baixa maturidade BIM, a partir disso, expandir gradualmente a implementação para outras áreas do campus, aprendendo com cada etapa e ajustando os processos conforme necessário.

Portanto, a baixa maturidade BIM na UFPE apresenta desafios específicos para a implementação do BIM-FM, mas também oferece uma oportunidade de transformação digital na gestão de ativos e manutenção. A transição para o BIM-FM, em um processo gradual e adaptado à realidade da universidade, pode resultar em ganhos de eficiência, redução de custos e uma gestão mais eficiente e integrada dos ativos, promovendo um ambiente acadêmico mais sustentável e bem gerido.

6.2 Analisando os requisitos de dados para a equipe de Manutenção: Identificação e definição das principais necessidades

A segunda etapa da diretriz se concentra na identificação detalhada dos dados essenciais para a manutenção predial eficiente. Esse processo começa com a definição dos ativos críticos, como sistemas de climatização, elétricos, hidráulicos e estruturais, e a coleta de informações técnicas e operacionais essenciais para o funcionamento dos edifícios. A centralização desses dados é crucial, pois permite uma visão integrada do status dos ativos ao longo de todo o ciclo de vida das construções (Hallberg; Tarandi, 2011; Seyis, 2020). A literatura sobre a implementação do BIM-FM em universidades públicas destaca que a falta de dados estruturados é um dos maiores obstáculos para uma gestão de manutenção eficiente (Coutinho Da et al., 2021; Desbalo et al., 2024b; Korpela et al., 2015).

Na UFPE, a falta de integração entre os sistemas existentes de gestão de ativos e a dificuldade de acesso a informações históricas de manutenção são desafios significativos. A ausência de um sistema centralizado e a dispersão dos dados em

formatos não integrados dificultam o planejamento de manutenções preventivas e, consequentemente, aumentam os custos operacionais (Heaton; Parlikad; Schooling, 2019; Rogage et al., 2020). Por conseguinte, a falta de dados semânticos, como o ciclo de vida dos ativos e suas interações com outros sistemas, reduz a capacidade das equipes de tomar decisões informadas sobre as necessidades de manutenção e reparo (Alavi; Bortolini; Forcada, 2022; Kim et al., 2018).

Para superar essas dificuldades, a diretriz propõe a criação de um inventário centralizado de ativos, que reúna informações críticas para a operação das edificações. Essa centralização não só facilita o acesso às informações, mas também permite uma melhor coordenação entre as equipes de manutenção, gestão e planejamento. A integração desses dados com sistemas de gestão computacional de manutenção (CMMS) e BIM cria uma base sólida para a tomada de decisões rápidas e precisas (Alavi; Bortolini; Forcada, 2022; Heaton; Parlikad; Schooling, 2019; Teicholz, 2013).

A adoção de normas internacionais, como a ISO 19650 e o IFC4.3, é crucial para garantir a interoperabilidade entre os diferentes sistemas e garantir que os dados sejam acessíveis e utilizáveis ao longo de todo o ciclo de vida dos ativos *(Farghaly et al., 2018; Palha; Hüttl; Da Costa E Silva, 2024)*. A pesquisa de Marmo et al., (2020) sugere que o uso de plataformas baseadas no IFC, que promovem a padronização e a interoperabilidade dos dados, é fundamental para a criação de um sistema de gestão eficiente, que permita a integração de dados operacionais, de manutenção e de projeto.

6.2.1Integração de Dados Estruturados e Não Estruturados

A adoção de padrões internacionais, como o IFC4.3 e a ISO 19650, garante que as informações sobre os ativos sejam estruturadas de maneira consistente e possam ser compartilhadas entre diferentes sistemas e plataformas (Godager et al., 2022). De acordo com Jia; Ma; Zhang, (2024), esses padrões não apenas melhoram a qualidade dos dados, mas também facilitam a transição para um modelo digitalizado e interoperável, onde todos os dados são acessíveis de forma centralizada.

Convém ressaltar que Desbalo et al., (2024) afirmam que, para as universidades públicas, a adoção de padrões de interoperabilidade é fundamental para garantir que as tecnologias de gestão de ativos, como BIM, possam ser aplicadas

de maneira consistente e eficaz, mesmo em contextos de baixa maturidade BIM. A implementação desses padrões facilita a atualização e manutenção contínua dos dados, além de garantir que todos os envolvidos no processo de gestão de ativos tenham acesso às informações corretas no momento adequado.

6.3 Convenções de catalogação e nomenclatura de ativos: Criação de um catálogo, registro e atualização de ativos

A catalogação e nomeação padronizada dos ativos são fundamentais para garantir uma organização eficiente dos dados e assegurar que as informações sobre manutenção sejam facilmente acessíveis e compreendidas por todos os envolvidos na gestão de ativos. No contexto da UFPE, a equipe de manutenção expressou a necessidade de um catálogo abrangente de ativos, com convenções de nomenclatura padronizadas para facilitar a identificação e o gerenciamento eficiente dos ativos.

A utilização de convenções como HVAC-TI-001 para sistemas de climatização (HVAC, *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* - Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado) e ILUM-AUD-002 (Iluminação - Auditório 002) para sistemas de iluminação simplificaria a identificação dos ativos e melhoraria a gestão da infraestrutura (Alavi; Forcada, 2022; Lin et al., 2018). A padronização da nomenclatura facilita a comunicação entre equipes, garantindo que todos os envolvidos compreendam claramente a que ativos estão se referindo, sem qualquer ambiguidade (Hu et al., 2018; Yang; Ergan, 2017). No mesmo contexto, a criação de um catálogo completo de ativos deve envolver a documentação detalhada de cada item, incluindo suas especificações técnicas, ciclo de vida e histórico de manutenção. A inclusão de informações sobre função e desempenho dos ativos deve ser parte integrante do processo de catalogação.

Esse processo não deve ser visto como uma tarefa única, mas como um processo contínuo e dinâmico, no qual os registros devem ser periodicamente atualizados à medida que os ativos evoluem ao longo de seu ciclo de vida (Wang; Abdul-Samad; Salleh, 2024). Isso é particularmente importante no contexto da baixa maturidade BIM observada na UFPE, onde processos claros de catalogação e atualização são necessários para garantir a consistência e precisão dos dados.

A padronização da catalogação deve ser alinhada com normas internacionais, como o IFC e o COBie, para garantir que os dados possam ser compartilhados e integrados com outras plataformas de gestão de manutenção (Farghaly et al., 2018; Hsieh et al., 2024).

Jia; Ma; Zhang, 2024; Matarneh et al., 2019a ressaltam que a adoção desses padrões facilita a interoperabilidade entre diferentes sistemas, melhorando a acessibilidade dos dados e a comunicação entre as equipes de gestão e manutenção. Esses padrões permitem que as universidades integrem facilmente suas informações de ativos com outros sistemas, como plataformas de gestão de manutenção computacional (CMMS) e ferramentas de monitoramento de energia, possibilitando uma gestão mais eficiente e integrada dos recursos da infraestrutura.

A integração de dados semânticos é outro aspecto essencial da catalogação eficaz de ativos, especialmente em contextos de manutenção preditiva *(Farghaly et al., 2018; Kim et al., 2018; Niknam; Karshenas, 2017)*. A inclusão de informações como o ciclo de vida dos ativos, suas funções e interações com outros sistemas dentro do edifício torna a gestão mais eficiente (Zhao et al., 2022). Werbrouck et al., (2020) observa que a integração de dados semânticos no modelo BIM proporciona uma melhor interpretação das informações, facilitando o planejamento de manutenções e a análise de desempenho dos ativos.

A falta de atualização dos registros de ativos pode ser um desafio significativo, principalmente em universidades com baixa maturidade BIM, como no caso da UFPE. A falta de processos claros, a inexistência de um sistema centralizado e a falta de treinamento das equipes podem impedir a atualização contínua e precisa dos registros. Matarneh et al., (2019b) sugere que a solução para esses problemas envolve o uso de tecnologias digitais, como sistemas baseados em nuvem e softwares de gestão integrada, que permitam a atualização em tempo real das informações sobre os ativos.

O uso de plataformas digitais facilita a sincronização de dados e assegura que todos os registros sejam mantidos atualizados, melhorando a eficiência operacional e a tomada de decisão (Hosamo et al., 2022). A UFPE, ao adotar um sistema de catalogação digital centralizado, pode garantir que todas as equipes envolvidas na gestão de ativos e manutenção tenham acesso imediato às informações corretas, independentemente de sua localização ou função. Zhao et al., 2022reforçam que a implementação de um sistema de sincronização em tempo real para garantir que as

informações sobre ativos sejam constantemente atualizadas pode minimizar o impacto de falhas operacionais e melhorar a comunicação entre os departamentos envolvidos.

Adicionalmente, tecnologias emergentes como RFID (*Identificação por Rádio Frequência*), códigos QR e sensores IoT podem ser integradas ao sistema de catalogação para melhorar a acuracidade e a eficiência do processo de atualização dos registros (Mansouri; Castronovo; Akhavian, 2020). Matarneh et al., (2019b) sugere que essas tecnologias podem aumentar a rastreabilidade dos ativos e permitir que as equipes de manutenção tenham informações em tempo real sobre o estado e a localização dos ativos. Por exemplo, um sensor IoT acoplado a um ativo pode fornecer dados de desempenho ao vivo, que são automaticamente registrados no sistema de gestão de ativos, garantindo que as informações sejam sempre atualizadas e completas (Pacios Álvarez et al., 2021).

Sarkar; Dhaneshwar; Raval, (2023); Shalabi; Turkan, (2017) enfatizam que a integração do BIM com o CMMS (Sistema Computadorizado de Gestão de Manutenção) é fundamental para garantir que as informações sobre os ativos sejam acessíveis diretamente pelas equipes de manutenção e outras áreas envolvidas na gestão de ativos. A utilização de uma plataforma digital centralizada e a integração dos dados de ativos com o CMMS permite que as equipes realizem manutenção preventiva e corretiva de forma mais eficiente, com menos tempo de inatividade e menor custo operacional.

6.4 Integração de Informações Semânticas: Definindo os benefícios, métodos de incorporação e utilizando APIs para uma integração otimizada

A integração de informações semânticas no modelo BIM-FM desempenha um papel essencial na gestão eficiente de ativos. Dados semânticos, como funções, especificações e ciclo de vida dos ativos, não apenas fornecem uma compreensão mais detalhada dos ativos, mas também oferecem insights mais precisos e úteis para o gerenciamento. Incluir essas informações semânticas no modelo BIM garante que as equipes de manutenção possam tomar decisões mais bem informadas e realizar operações de manutenção mais eficazes, minimizando falhas e custos imprevistos (Niknam; Karshenas, 2017; Werbrouck et al., 2020). Estudos indicam que a integração

de dados semânticos em sistemas BIM leva a uma gestão mais eficiente dos ativos que apontam uma simplificação das operações de manutenção e uma maior eficiência operacional (Alavi; Bortolini; Forcada, 2022; Munir et al., 2020a; Niknam; Karshenas, 2017; Patacas et al., 2015).

A inclusão de informações semânticas no modelo BIM não se limita apenas a dados sobre as funções dos ativos, mas também envolve dados sobre o desempenho, especificações técnicas e o ciclo de vida completo dos ativos. Isso garante que as informações críticas sejam sempre disponíveis e atualizadas, permitindo que os profissionais tomem decisões mais rápidas e baseadas em dados completos e precisos. Segundo Niknam; Karshenas, (2017), a integração semântica melhora significativamente a interpretação dos dados e a capacidade de prever problemas antes que se tornem falhas catastróficas, o que aumenta a eficiência da manutenção preditiva.

O uso de formatos padronizados, como o IFC e o COBie é fundamental para garantir a interoperabilidade e a transferência eficiente de dados semânticos entre sistemas (Shin; Moon; Shin, 2022). O IFC oferece uma estrutura para a troca de informações que permite que os dados sobre ativos sejam compartilhados de maneira consistente entre plataformas diversas, como CMMS e ferramentas de monitoramento de energia, sem perda de contexto (Kim et al., 2018) . A adoção do IFC resulta em maior eficiência operacional, conforme demonstrado em estudos como o de (Lee; Eastman; Solihin, 2018b) que destacam como o IFC contribui para a interconexão de sistemas diferentes, garantindo que dados de manutenção e especificações técnicas sejam acessíveis de maneira padronizada.

As APIs (*Application Programming Interface* - Interface de Programação de Aplicação), como a IFC4.3 API, desempenham um papel crucial na integração semântica dos dados ao modelo BIM (Pärn; Edwards, 2017). As APIs permitem a incorporação de dados estruturados sobre os ativos e suas funções, especificações e ciclo de vida, proporcionando uma integração otimizada e interoperável entre os sistemas utilizados para gerir os ativos (Jin; Gambatese, 2019). O uso da IFC4.3 API facilita a atualização em tempo real das informações, o que garante que as equipes de manutenção tenham sempre acesso aos dados mais recentes, melhorando a eficiência na execução das tarefas de manutenção e reduzindo o risco de falhas inesperadas (Saad; Ajayi; Alaka, 2023).

As APIs também permitem que as informações semânticas sejam acessadas de forma estruturada e organizada, tornando os dados mais compreensíveis e úteis para os profissionais envolvidos na gestão de ativos (Justo et al., 2021). Liu et al., (2024) apontam as APIs como a IFC4.3 oferecem uma vantagem significativa ao permitir que as informações sejam compartilhadas entre plataformas diferentes de maneira consistente, o que melhora a transparência e a coordenação entre as equipes de manutenção, gestão e outros departamentos da universidade. Isso facilita uma tomada de decisões mais informada e contribui para uma manutenção mais eficaz, com base em dados estruturados, atualizados e facilmente acessíveis.

No caso da UFPE, por exemplo, a integração de manuais de serviço e relatórios de teste ao sistema BIM permitirá que as equipes de manutenção acessem e utilizem essas informações de forma mais eficiente. Isso garante que todos os dados necessários para as atividades de manutenção estejam centralizados e acessíveis de forma otimizada. A integração de manuais técnicos ao modelo BIM assegura que os técnicos de manutenção possam consultar as especificações completas de cada ativo, seu histórico de falhas e as instruções de reparo diretamente a partir do modelo BIM, o que melhora significativamente o tempo de resposta e a qualidade do trabalho. Como evidenciado por Farghaly et al., (2018), a centralização das informações de manutenção e a integração com o modelo BIM aumentam a eficiência das operações e facilitam o gerenciamento de ativos.

Ressalta-se que ao adotar APIs como a IFC4.3, a UFPE pode garantir que os dados sejam atualizados em tempo real, permitindo que todas as partes envolvidas na gestão de ativos tenham acesso às informações mais recentes, o que melhora a coordenação entre equipes de manutenção, gestão de energia e outras partes interessadas. Isso não só aumenta a eficiência operacional, mas também contribui para uma redução significativa nos custos de manutenção, permitindo que a universidade otimize os recursos financeiros disponíveis para a manutenção da infraestrutura (Hsieh et al., 2019).

Portanto, a integração de dados semânticos com o uso de formatos como o IFC e a API IFC4.3 representa um avanço significativo na gestão de ativos no BIM-FM, proporcionando uma manutenção preditiva mais eficiente, redução de custos e uma melhor comunicação entre todas as equipes envolvidas na gestão e manutenção dos ativos da universidade. A acessibilidade aprimorada dos dados e a transparência nas informações proporcionadas pela integração semântica contribuem para a criação de

um sistema de gestão mais inteligente e sustentável, alinhado às necessidades operacionais e estratégicas da universidade.

6.5 Estabelecimento de Formatos de Dados e Documentos: Normas e diretrizes de dados, adaptação de formatos às necessidades do cliente garantindo a segurança, e integração com CMMS

A padronização de formatos de dados é um elemento crucial para garantir que o sistema BIM-FM possa se integrar eficazmente com as plataformas utilizadas para a gestão de ativos e manutenção nas universidades públicas. Embora o IFC e o COBie já tenham sido discutidos como soluções fundamentais para a interoperabilidade e integração de dados, este passo foca em como adaptar esses formatos para atender às necessidades específicas das universidades, além de garantir a segurança e privacidade dos dados (Marmo et al., 2020).

No contexto da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), o uso de ferramentas como o Revit para novos projetos de construção exige a integração de dados com sistemas de Gestão das instalações (FM). Isso inclui a utilização de plataformas como o BIMserver, que facilita a centralização dos dados e a gestão eficiente de ativos. O BIMserver atua como um ambiente de dados comum (CDE), permitindo que todos os envolvidos no processo de gestão tenham acesso a uma única fonte de dados atualizada e consistente. Essa integração facilita a manutenção preventiva e a análise do ciclo de vida dos ativos, contribuindo para uma gestão mais eficiente das instalações (Codinhoto; Kiviniemi, 2014; Munir et al., 2020a; Olbrich et al., 2013).

Ademais, ferramentas como o *Autodesk Viewer* são essenciais para a visualização interativa dos modelos BIM, permitindo que as equipes de manutenção compreendam as condições dos ativos de maneira mais detalhada. A visualização em 3D ajuda a identificar áreas que requerem atenção, permitindo um planejamento de manutenção preventiva mais eficaz e a redução de custos operacionais *(Oraskari et al., 2024)*.

Além da integração de dados, a segurança e a privacidade das informações são questões cruciais para a implementação de sistemas BIM-FM (Zhao et al., 2022). A tecnologia blockchain se apresenta como uma solução inovadora para garantir que

os dados transferidos entre o BIM e os sistemas de manutenção sejam seguros e imutáveis. O *blockchain* funciona como uma cadeia de blocos, onde cada transação é registrada de maneira permanente, o que impede qualquer alteração não autorizada nos dados (Sarkar; Dhaneshwar; Raval, 2023). Isso é especialmente importante no contexto da gestão de ativos, onde a precisão das informações sobre os ativos e suas manutenções anteriores é essencial para garantir que as decisões de manutenção sejam tomadas com base em dados confiáveis. O uso de *blockchain* no gerenciamento de dados relacionados a ativos pode aumentar significativamente a transparência e a segurança, reduzindo os riscos associados a falhas nos sistemas de gestão de manutenção (Ni; Sun; Wang, 2021).

Como ainda, a implementação de políticas de privacidade e proteção de dados é fundamental. Isso inclui a aplicação de criptografia de dados e a definição de permissões de acesso, garantindo que apenas usuários autorizados possam acessar informações sensíveis. Para atender a regulamentações como o GDPR (Regulamento Geral de Proteção de Dados), é necessário garantir que todos os dados pessoais ou críticos sejam tratados de acordo com as normas de proteção de dados, assegurando a confidencialidade e integridade das informações (Araújo; Bastista; Araújo, 2022; Cocco; Tonelli; Marchesi, 2022).

Por fim, a combinação de normas padronizadas, como IFC e COBie, com a utilização de plataformas como o BIMserver, a visualização interativa com o Autodesk Viewer, e a implementação de blockchain e políticas de segurança de dados, cria um sistema BIM-FM que não só é eficiente e sustentável, mas também seguro e adaptável às necessidades de manutenção das universidades públicas, como a UFPE.

6.6 Desenvolvendo Padrões BIM-FM: Adaptação de Normas Internacionais, Envolvimento dos *Stakeholders* e Promoção de Recursos e Treinamento

A criação de padrões específicos para BIM-GI (Modelagem da Informação da Construção - Gestão de Instalações) nas universidades públicas é crucial para garantir que as informações sobre os ativos e a manutenção dos edifícios sejam bem geridas e compartilhadas de forma consistente ao longo de todo o ciclo de vida do edifício. Esses padrões devem ser desenvolvidos com base em normas internacionais, como a ISO 19650 e o COBie, que são amplamente reconhecidas por sua capacidade de

promover a interoperabilidade entre sistemas de gestão e garantir a qualidade e precisão dos dados (Godager et al., 2022).

A ISO 19650 é uma norma que orienta a organização, digitalização e gestão da informação no ciclo de vida de um projeto, desde sua concepção até sua operação e manutenção. Ela permite que os dados sejam compartilhados de forma eficiente entre todos os envolvidos no projeto, o que facilita a tomada de decisões, a colaboração e a transparência (ISO, 2018). O COBie, por sua vez, é um formato de dados que ajuda a estruturar as informações necessárias para a gestão de ativos durante as fases de operação e manutenção, garantindo que todos os dados relevantes sobre o ciclo de vida dos ativos sejam acessíveis e compreensíveis para todos os stakeholders envolvidos (Kumar; Teo, 2021).

No entanto, é fundamental que essas normas sejam adaptadas à realidade das universidades públicas, considerando o nível de maturidade BIM de cada instituição e os recursos de que dispõem. A adaptação dessas normas exige um envolvimento ativo de todos os stakeholders relevantes na universidade, incluindo gestores, equipes de manutenção, professores e alunos(KASSEM et al., 2015). O engajamento de todos esses grupos é essencial para garantir que os padrões propostos reflitam as necessidades reais da instituição e promovam uma gestão colaborativa e eficiente dos ativo (KORPELA et al., 2015)s. Ao envolver essas partes desde o início do processo de desenvolvimento dos padrões, a universidade assegura que todos compreendam e aceitem o sistema, criando um ambiente mais colaborativo e integrado (Cavka; Staub-French; Pottinger, 2015; Greenwood; Kassem, 2016; Munir et al., 2020b).

Esse envolvimento pode ser promovido por meio de workshops, reuniões de alinhamento e fóruns de discussão, onde os participantes podem expressar suas dúvidas e sugestões, além de entender melhor como os padrões e ferramentas BIM podem beneficiar a gestão de ativos e a manutenção preditiva (Viana; Carvalho, 2020). Contudo, esse processo pode enfrentar alguns desafios, como a resistência à mudança, especialmente por parte das equipes acostumadas com processos tradicionais de gestão de manutenção. Para superar esse obstáculo, é essencial que a gestão da mudança seja incorporada ao processo de implementação, com comunicação clara sobre os benefícios do BIM-GI e a promoção de capacitação contínua (Sacks et al., 2018a).

Outro desafio pode ser a falta de capacitação técnica nas equipes, principalmente em universidades com baixo nível de maturidade BIM. Nesse caso, é

importante estabelecer programas de treinamento contínuo que ofereçam uma introdução progressiva às ferramentas BIM, como o Revit, e à integração dessas ferramentas aos sistemas de Gestão de Instalações. Esses treinamentos devem ser adaptados ao nível de conhecimento dos participantes e podem ser oferecidos em módulos que evoluam conforme as necessidades da universidade e as competências de cada equipe(Sacks et al., 2018a).

À medida que a universidade avança na implementação de BIM, os treinamentos podem se tornar mais especializados, abordando a manutenção preditiva, a integração de dados em tempo real e o uso de tecnologias avançadas para a gestão de ativos. Para garantir que os sistemas BIM e os bancos de dados de ativos se mantenham atualizados e consistentes, é essencial que as universidades estabeleçam um processo claro de atualização. No caso da UFPE, por exemplo, as revisões periódicas devem ser realizadas para que qualquer alteração física ou manutenção nos ativos seja refletida corretamente no modelo BIM. A responsabilidade pela atualização das informações deve ser atribuída claramente às equipes responsáveis pela manutenção e pelos projetos, garantindo que os dados estejam sempre atualizados e reflitam as condições reais das instalações.

Esse processo de atualização contínua é vital para que o modelo BIM se mantenha útil ao longo do tempo, proporcionando informações confiáveis para a gestão de ativos e a tomada de decisões de manutenção. Por fim, é importante destacar que a flexibilidade da diretriz BIM-GI permite que os padrões sejam ajustados conforme o nível de maturidade BIM e os recursos disponíveis em cada universidade. A diretriz deve ser adaptável para que diferentes instituições possam implementar o BIM de maneira eficaz, com base em suas necessidades específicas. Isso significa que universidades com menor maturidade BIM pode começar com soluções mais simples e acessíveis, enquanto aquelas com maior capacidade técnica podem adotar soluções mais avançadas e automatizadas para a gestão de ativos e manutenção preditiva.

6. 7 Revisão e Atualização dos Sistemas BIM/Banco de Dados: Procedimentos e Responsabilidades, Critérios de Validação e Processos, e Definição da Frequência das Revisões

A diretriz BIM-GI (Modelagem da Informação da Construção - Gestão de Instalações) proposta para universidades públicas visa garantir a integração eficaz dos dados entre o modelo BIM e as plataformas de Gestão de Instalações (GI), promovendo uma abordagem mais eficiente e sustentável para a gestão de ativos e manutenção. Esta diretriz é adaptável, podendo ser ajustada conforme o nível de maturidade BIM e os recursos disponíveis em cada instituição, permitindo que diferentes contextos universitários implementem o sistema conforme suas necessidades específicas.

A revisão dos sistemas deve seguir critérios previamente estabelecidos para garantir que todas as informações inseridas sejam validadas de maneira adequada, mantendo a consistência e a integridade dos dados (CEPA et al., 2023). Para garantir essa consistência, é necessário definir procedimentos claros, que incluam não apenas as etapas de validação de dados, mas também a documentação das revisões e a alocação de responsabilidades entre as equipes envolvidas no processo (Kula; Ergen, 2021).

O uso de KPIs (*Key Performance Indicators*), ou Indicadores-chave de Desempenho, pode ser uma ferramenta eficaz para monitorar a eficácia do BIM-GI, ajudando a medir áreas críticas como eficiência na manutenção, precisão dos dados e tempo de resposta para correções (Manzione; Wyse; Melhado, 2011). KPIs como esses são fundamentais para garantir que os dados e os processos de manutenção estejam atendendo aos objetivos estabelecidos pela diretriz BIM-GI (Artan et al., 2022; Manzione; Wyse; Melhado, 2011). Por exemplo, a eficiência na manutenção pode ser medida pela redução do tempo de resposta para reparos, enquanto a precisão dos dados pode ser monitorada pela taxa de erros nos registros de ativos. Esses indicadores devem ser analisados periodicamente para garantir que o sistema esteja sempre evoluindo e atendendo às necessidades operacionais (Artan et al., 2022).

A frequência das revisões deve ser determinada com base nas necessidades operacionais da universidade, considerando o ciclo de vida dos ativos e as demandas de manutenção preventiva. Para a UFPE, revisões anuais ou semestrais podem ser adequadas, mas essa periodicidade pode ser ajustada conforme a dinâmica de

manutenção e as necessidades operacionais de cada universidade. A definição da periodicidade das revisões deve também levar em consideração o nível de maturidade BIM da instituição e os recursos disponíveis. Para universidades com menor maturidade BIM, a revisão pode ser realizada de forma mais simples e com menor frequência, enquanto instituições com maior maturidade BIM podem implementar um processo de revisão mais rigoroso e automatizado.

As revisões devem seguir critérios rigorosos para garantir que as atualizações de informações sejam feitas com precisão e de acordo com os padrões estabelecidos, mantendo a qualidade e a relevância dos dados. A comunicação das alterações precisa ser eficiente, e o uso de ferramentas digitais ou plataformas de gestão de manutenção pode facilitar o acesso e a sincronização dos dados entre os envolvidos. A flexibilidade da diretriz BIM-GI permite que as universidades ajustem as ferramentas de gestão de dados e comunicação de acordo com suas capacidades e o nível de maturidade BIM, garantindo que todas as partes envolvidas possam acessar e utilizar as informações atualizadas de forma eficiente (Wang B; Chen Z; Li M; Wang Q; Yin C; Cheng J, 2024).

A responsabilidade pela atualização das informações deve ser bem definida, com tarefas específicas atribuídas a diferentes equipes, como as equipes de manutenção e os gestores de dados (Sacks et al., 2018a). Isso garantirá que as revisões sejam realizadas de forma sistemática e que o modelo BIM esteja sempre alinhado com as condições reais dos ativos e com as necessidades operacionais da universidade.

A documentação dessas revisões deve ser mantida para garantir a transparência e possibilitar o rastreamento das alterações, promovendo a integridade dos dados ao longo do tempo (Sacks et al., 2018a). Dessa forma, a diretriz BIM-GI pode ser aplicada de maneira adaptável, com opções para diferentes instituições, considerando suas necessidades específicas e o nível de maturidade BIM.

7 CONCLUSÃO

A implementação da Modelagem da Informação da Construção (BIM) integrada à gestão predial (FM) com foco na gestão da informação em instituições de ensino superior públicas é uma oportunidade estratégica para modernizar os processos de manutenção e operação das edificações. Essa abordagem busca superar desafios como a fragmentação de dados, a ausência de padronização, a falta de integração entre sistemas e as limitações de recursos financeiros. Esses obstáculos resultam em retrabalhos, atrasos, aumento de custos e ineficiência operacional, comprometendo a gestão de ativos e a tomada de decisões estratégicas.

Este trabalho propôs uma diretriz prática e escalável, voltada para atender às necessidades das instituições de ensino superior, inclusive daquelas com baixa maturidade BIM. Embora desenvolvida a partir da análise do contexto específico da UFPE, a diretriz foi estruturada de forma adaptável, considerando os desafios e particularidades operacionais de diferentes instituições. O uso do Sistema Integrado de Patrimônio, Administração e Contratos (SIPAC), amplamente adotado em universidades públicas brasileiras, foi um elemento importante no desenho da diretriz, destacando a possibilidade de aplicação em outras organizações com configurações similares.

A diretriz proposta representa um avanço em relação ao modelo de Lucas e Thabet (2017b), ao incorporar tecnologias emergentes e padrões internacionais de gestão de informações. Entre os diferenciais estão a integração de informações semânticas por meio de APIs baseadas no padrão IFC4.3, promovendo maior interoperabilidade, e a adaptação da norma ISO 19650 ao contexto brasileiro. Adicionalmente, a proposta inclui a adoção de medidas de segurança de dados, como o uso de blockchain, e a padronização da nomenclatura de ativos, o que facilita a comunicação entre as equipes de manutenção e melhora a eficiência operacional.

Outro ponto de destaque é a centralização de dados críticos em um ambiente de dados comum (CDE), o que otimiza o acesso às informações por meio da integração com sistemas já existentes, como o SIPAC. Isso garante que especificações técnicas, histórico de manutenção e localização de ativos sejam acessíveis de maneira organizada, reduzindo o tempo de resposta às demandas operacionais e minimizando custos associados à gestão predial.

Apesar das contribuições, este estudo apresenta limitações importantes. A impossibilidade de validação prática da diretriz decorre da ausência de infraestrutura

tecnológica adequada na UFPE, o que impossibilitou o teste direto da proposta no ambiente real. Além disso, a coleta de dados em regime remoto, devido ao contexto híbrido dos profissionais da instituição, representou um desafio metodológico. Futuras investigações poderão explorar a aplicação prática da diretriz em diferentes contextos institucionais, avaliando seus impactos operacionais e econômicos. O uso de tecnologias emergentes, como IoT, gêmeos digitais e realidade aumentada, representa uma oportunidade de expandir o alcance da proposta, promovendo melhorias contínuas na gestão da informação.

Conclui-se que a diretriz proposta oferece uma solução prática, robusta e escalável para enfrentar os desafios da gestão predial em instituições de ensino superior públicas. Sua abordagem modular, adaptada às especificidades locais e integrada a tecnologias emergentes, estabelece uma base sólida para a modernização dos processos de operação e manutenção. Assim, esta dissertação contribui tanto para o avanço acadêmico quanto para o aprimoramento prático das instituições, oferecendo um caminho promissor para futuras pesquisas e implementações

8 REFERÊNCIAS

ABDIRAD, H.; DOSSICK, C. S. Rebaselining Asset Data for Existing Facilities and Infrastructure. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 34, n. 1, jan. 2020.

ALAVI, H.; BORTOLINI, R.; FORCADA, N. BIM-based decision support for building condition assessment. **Automation in Construction**, v. 135, 1 mar. 2022.

ALAVI, H.; FORCADA, N. User-Centric BIM-Based Framework for HVAC Root-Cause Detection. **Energies**, v. 15, n. 10, 1 maio 2022.

ALEXANDER, K. **Facilities Management: Theory and Practice**. 1st Edition ed. London: Routledge, 1996.

ALMATARED, M. et al. Digital-Twin-Based Fire Safety Management Framework for Smart Buildings. **Buildings**, v. 14, n. 1, 1 jan. 2024.

ALSOFIANI, M. A. Digitalization in Infrastructure Construction Projects: A PRISMA-Based Review of Benefits and Obstacles. 27 maio 2024.

ALVES, J. L.; DE CARVALHO, M. M. Bridging Knowledge Management and Capabilities in Innovative Projects: An Integrative Framework. **Project Management Journal**, 2023.

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS, T. **G202-2013 - Project BIM Protocol Form**. [s.l: s.n.].

ARARUNA, E. C. **Diretrizes para o uso do Building Information Modeling associado ao Facilities Management como meio para auxiliar a gestão de laboratório em ambiente universitário**. São Paulo: [s.n.].

ARAÚJO, A. G.; PEREIRA CARNEIRO, A. M.; PALHA, R. P. **Sustainable construction management: A systematic review of the literature with meta-analysis**. **Journal of Cleaner Production**Elsevier Ltd, , 20 maio 2020.

ARAÚJO, W. J. DE; BASTISTA, R. R.; ARAÚJO, S. G. L. **Cenários para a implementação de políticas de segurança da informação em universidades públicas federais**. [s.l: s.n.].

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959–975, 1 nov. 2017.

ARTAN, D. et al. RATEWORKSPACE: BIM INTEGRATED POST-OCCUPANCY EVALUATION SYSTEM FOR OFFICE BUILDINGS. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 27, p. 441–485, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5462:1994 - Confiabilidade e manutenção**. Rio de Janeiro: ssociação Brasileira de Normas Técnicas, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14037:2011 - Procedimentos para elaboração de planos de manutenção, inspeção e reposição**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 55001:2014 - Sistema de gestão de ativos — Requisitos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.

ATKIN, B.; BROOKS, A. **Total Facilities Management**. 4th. ed. New York: Wiley, 2015.

BAEK, F.; HA, I.; KIM, H. Augmented reality system for facility management using image-based indoor localization. **Automation in Construction**, v. 99, p. 18–26, 1 mar. 2019.

BARBOSA, A. M. DA S. et al. **A gestão de facilities na manutenção de uma instituição pública RESUMO**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi>.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Edições 70 ed. São Paulo: [s.n.].

BECERIK-GERBER, B. et al. Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 138, n. 3, p. 431–442, mar. 2012.

BEN-DAYA, M. et al. **Handbook of Maintenance Management and Engineering**. London: Springer, 2009.

BENN, M.; STOY, C. Implementing asset information requirement templates for corporate real estate management: A study in the chemical industry. **Developments in the Built Environment**, v. 16, p. 100224, 1 dez. 2023.

BEW, M. ;; RICHARDS, M. **BIM Maturity Levels Explained: From CAD to Integrated BIM**. [s.l: s.n.].

BIMFORUM, W.; ORG, /; LOD. **Level of Development (LOD) Specification 2021 Supplement Collaborating Organizations Level of Development Specification Supplement to 2021 Level of Development (LOD) Specification 2021 Supplement**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.bimforum.org/lod>.

BÖES, J. S.; BARROS NETO, J. DE P.; LIMA, M. M. X. DE. BIM maturity model for higher education institutions. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 2, p. 131–150, abr. 2021a.

BÖES, J. S.; BARROS NETO, J. DE P.; LIMA, M. M. X. DE. BIM maturity model for higher education institutions. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 2, p. 131–150, abr. 2021b.

BORTOLUZZI, B. et al. Automating the creation of building information models for existing buildings. **Automation in Construction**, v. 105, 1 set. 2019.

BRASIL. **Decreto nº 10.306, de 2020**. Brasília: Diário Oficial da União, 2020.

BUILDINGSMART INTERNATIONAL. **Industry Foundation Classes (IFC) Overview**. Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/>. Acesso em: 1 fev. 2025.

CANTISANI, G. et al. Re-design of a road node with 7D BIM: Geometrical, environmental and microsimulation approaches to implement a benefit-cost analysis between alternatives. **Automation in Construction**, v. 135, p. 104133, 1 mar. 2022.

CARRASCO, C. A. et al. Building Information Modeling (BIM 6D) and Its Application to Thermal Loads Calculation in Retrofitting. **Buildings**, v. 13, n. 8, 1 ago. 2023.

CARRASCO, C. A. et al. A New Approach to 3D Facilities Management in Buildings Using GIS and BIM Integration: A Case Study Application. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 14, n. 23, 1 dez. 2024.

CARREIRA, P. et al. Virtual reality as integration environments for facilities management: Application and users perception. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 25, n. 1, p. 90–112, 2018.

CAVKA, H. B.; STAUB-FRENCH, S.; POTTINGER, R. Evaluating the alignment of organizational and project contexts for BIM adoption: A case study of a large owner organization. **Buildings**, v. 5, n. 4, p. 1265–1300, 2015.

CEPA, J. J. et al. TOWARDS BIM-GIS INTEGRATION FOR ROAD INTELLIGENT MANAGEMENT SYSTEM. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 29, n. 7, p. 621–638, 11 set. 2023.

CHEN, C.; TANG, L. BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance. **Automation in Construction**, v. 107, 1 nov. 2019.

CHEN, K. L.; TSAI, M. H. Conversation-based information delivery method for facility management. **Sensors**, v. 21, n. 14, 2 jul. 2021.

CHEN, L. et al. Development and application of a specification-compliant highway tunnel facility management system based on BIM. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 97, 1 mar. 2020.

COCCO, L.; TONELLI, R.; MARCHESI, M. A System Proposal for Information Management in Building Sector Based on BIM, SSI, IoT and Blockchain. **Future Internet**, v. 14, n. 5, 1 maio 2022.

CODINHOTO, R.; KIVINIEMI, A. **IFIP AICT 442 - BIM for FM: A Case Support for Business Life Cycle**. [s.l: s.n.].

CONGIU, E. et al. **BIM-GIS Integrated Framework in Support of Facility Management (FM)**. , 23 nov. 2023. Disponível em: <https://www.preprints.org/manuscript/202311.1499/v1>

COTTS, D. G.; ROPER, K. O.; PAYANT, R. P. **The Facility Management Handbook**. 4th. ed. New York: AMACOM, 2010.

COUTINHO DA, W. et al. **ESTUDO DE CASO DE UM PROJETO PILOTO DE IMPLEMENTAÇÃO DO BIM BIM NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**. [s.l: s.n.].

DESBALO, M. T. et al. BIM-enabled built-asset information management conceptual framework: A case of public university buildings in Addis Ababa, Ethiopia. **Heliyon**, v. 10, n. 12, 30 jun. 2024a.

DESBALO, M. T. et al. BIM-enabled built-asset information management conceptual framework: A case of public university buildings in Addis Ababa, Ethiopia. **Heliyon**, v. 10, n. 12, p. e33026, 30 jun. 2024b.

DIMARA, A. et al. Building Performance Simulation. Em: **Palgrave Studies in Digital Business and Enabling Technologies**. [s.l.] Palgrave Macmillan, 2023. v. Part F1217p. 53–67.

EL AMMARI, K.; HAMMAD, A. Remote interactive collaboration in facilities management using BIM-based mixed reality. **Automation in Construction**, v. 107, 1 nov. 2019.

FARGHALY, K. et al. Taxonomy for BIM and Asset Management Semantic Interoperability. **Journal of Management in Engineering**, v. 34, n. 4, jul. 2018.

FETTERS, M. D.; CURRY, L. A.; CRESWELL, J. W. Achieving integration in mixed methods designs - Principles and practices. **Health Services Research**, v. 48, n. 6 PART2, p. 2134–2156, 2013.

GAN, S. et al. **IoT Based Energy Consumption Monitoring Platform for Industrial Processes**. 2018 UKACC 12th International Conference on Control, CONTROL 2018. **Anais**...Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 31 out. 2018.

GODAGER, B. et al. TOWARDS AN IMPROVED FRAMEWORK FOR ENTERPRISE BIM: THE ROLE OF ISO 19650. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 27, p. 1075–1103, 2022.

GRANT THORNTON BRASIL; SIENGE;; AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Mapeamento de Maturidade BIM no Brasil**. São Paulo, Brasil: [s.n.]. Disponível em: <https://www.grantthornton.com.br/globalassets/1.-member-firms/brazil/pesquisas/fy22/maturidade-bim/maturidade-bim-no-brasil---2022.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2025.

GREENWOOD, D.; KASSEM, M. **SUPPORTING BUILDING OWNERS AND FACILITY MANAGERS IN THE VALIDATION AND VISUALISATION OF ASSET INFORMATION MODELS (AIM) THROUGH OPEN STANDARDS AND OPEN TECHNOLOGIESJournal of Information Technology in Construction (ITcon)**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.itcon.org/2016/27>.

HALLBERG, D.; TARANDI, V. **ON THE USE OF OPEN BIM AND 4D VISUALISATION IN A PREDICTIVE LIFE CYCLE MANAGEMENT SYSTEM FOR CONSTRUCTION**

WORKSwww.itcon.org-Journal of Information Technology in Construction. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.itcon.org/2011/26>.

HEATON, J.; PARLIKAD, A. K.; SCHOOLING, J. Design and development of BIM models to support operations and maintenance. **Computers in Industry**, v. 111, p. 172–186, 1 out. 2019.

HOSAMO, H. H. et al. **A Review of the Digital Twin Technology in the AEC-FM Industry**. **Advances in Civil Engineering**Hindawi Limited, , 2022.

HSIEH, C. C. et al. Building information modeling services reuse for facility management for semiconductor fabrication plants. **Automation in Construction**, v. 102, p. 270–287, 1 jun. 2019.

HSIEH, P. C. et al. Building Facility Management System Using Sensors and Digital Technologies. **Sensors and Materials**, v. 36, n. 3, p. 1251–1273, 2024.

HU, Z. Z. et al. BIM-based integrated delivery technologies for intelligent MEP management in the operation and maintenance phase. **Advances in Engineering Software**, v. 115, p. 1–16, 1 jan. 2018.

INSTITUTE OF ASSET MANAGEMENT. **Asset Management – An Anatomy, Version 3**. London: [s.n.]. Disponível em: <www.theIAM.org>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 15686-1:2011 Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework**. Genebra: [s.n.].

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 55000:2014 - Asset management — Overview, principles and terminology**. Genebra: ISO, 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14224:2016 - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment**. Genebra: ISO, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 41011:2017 – Facility Management: Vocabulary**. Genebra: [s.n.]. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/68494.html>. Acesso em: 1 fev. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 19650-1:2018. Organização e digitalização da informação na construção e engenharia civil – Gestão da informação usando o Building Information Modelling (BIM) – Parte 1: Conceitos e princípios.** , 2018. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/68078.html>. Acesso em: 24 jan. 2025

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 41001:2020 – Facility Management – Management Systems – Requirements with Guidance for Use**. Genebra: [s.n.]. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/72139.html>. Acesso em: 2 fev. 2025.

ISMAIL, N. A. A. et al. **A Systematic Literature Review on BIM-based Facilities Management towards Sustainable Construction**. **Chemical Engineering Transactions**Italian Association of Chemical Engineering - AIDIC, , 2023.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). ISO 19650-1:2018 – Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles. 2018.

JAISWAL, S. et al. **Enabling Quality in Lean Construction: Integrating the Principles of Total Quality Management with 9D-BIM**. [s.l: s.n.].

JANG, R.; COLLINGE, W. Improving BIM asset and facilities management processes: A Mechanical and Electrical (M&E) contractor perspective. **Journal of Building Engineering**, v. 32, 1 nov. 2020.

JARDINE, A. K. S.; LIN, D.; BANJEVIC, D. **A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance**. **Mechanical Systems and Signal Processing**, out. 2006.

JENSEN, P. A. **Facilities Management Models, Methods and Tools: Research Results for Practice**. 1st. ed. London: Routledge, 2019.

JIA, J.; MA, H.; ZHANG, Z. **Integration of Industry Foundation Classes and Ontology: Data, Applications, Modes, Challenges, and Opportunities**. **Buildings**Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), , 1 abr. 2024.

JIN, Z.; GAMBATESE, J. A. **BIM for Temporary Structures: Development of a Revit API Plug-in for Concrete Formwork**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/333951704>.

JUSTO, A. et al. Scan-to-BIM for the infrastructure domain: Generation of IFC-compliant models of road infrastructure assets and semantics using 3D point cloud data. **Automation in Construction**, v. 127, p. 103703, 1 jul. 2021.

KAMAL, Z.; TAGHADDOS, H.; KARIMI, H. BIM-Based Maintenance Management System for Healthcare Facilities. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 35, n. 4, ago. 2021.

KASSEM, M. et al. BIM in facilities management applications: A case study of a large university complex. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 5, n. 3, p. 261–277, 6 jul. 2015.

KIM, K. et al. Integration of ifc objects and facility management work information using Semantic Web. **Automation in Construction**, v. 87, p. 173–187, 1 mar. 2018.

KORPELA, J. et al. The challenges and potentials of utilizing building information modelling in facility management: the case of the Center for Properties and Facilities of the University of Helsinki. **Construction Management and Economics**, v. 33, n. 1, p. 3–17, 2 jan. 2015.

KREIDER, R. G.; MESSNER, J. I. **The Uses of BIM Classifying and Selecting BIM Uses**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://bim.psu.edu.>.

KULA, B.; ERGEN, E. Implementation of a BIM-FM Platform at an International Airport Project: Case Study. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, n. 4, abr. 2021.

KUMAR, V.; TEO, A. L. E. Development of a rule-based system to enhance the data consistency and usability of COBie datasheets. **Journal of Computational Design and Engineering**, v. 8, n. 1, p. 343–361, 1 fev. 2021.

LAVY, S.; SAXENA, N.; DIXIT, M. Effects of BIM and COBie Database Facility Management on Work Order Processing Times: Case Study. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 33, n. 6, dez. 2019.

LEE, G.; EASTMAN, C.; SOLIHIN, W. **BIM for Design Coordination: A Virtual Design and Construction Guide for Designers, General Contractors, and Subcontractors**. Hoboken: Wiley, 2018a.

LEE, J.; NI, J. **Handbook of Maintenance Management and Engineering**. London: [s.n.].

LEE, Y. C.; EASTMAN, C. M.; SOLIHIN, W. Logic for ensuring the data exchange integrity of building information models. **Automation in Construction**, v. 85, p. 249–262, 1 jan. 2018b.

LI, J. et al. **The Relationship Between Artificial Intelligence (AI) and Building Information Modeling (BIM) Technologies for Sustainable Building in the Context**

of Smart Cities. **Sustainability (Switzerland)**Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), , 1 dez. 2024.

LIN, Y. C. et al. Developing final as-built BIM model management system for owners during project closeout: A case study. **Advanced Engineering Informatics**, v. 36, p. 178–193, 1 abr. 2018.

LIU, Z. et al. Transition from building information modeling (BIM) to integrated digital delivery (IDD) in sustainable building management: A knowledge discovery approach based review. **Journal of Cleaner Production**, v. 291, p. 125223, 1 abr. 2021.

LIU, Z. et al. The 10th International Conference on Construction Engineering and Project Management IFC Data Schema Extension for Railway Track Facility Management. 2024.

LUCAS, J. et al. **A PILOT MODEL FOR A PROOF OF CONCEPT HEALTHCARE FACILITY INFORMATION MANAGEMENT PROTOTYPE/5 EDITOR: Kirti Ruikar) A pilot model for a proof of concept healthcare facility information management prototypeJournal of Information Technology in Construction (ITcon)**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.itcon.org/2013/5>.

LUCAS, J. et al. Case Analysis to Identify Information Links between Facility Management and Healthcare Delivery Information in a Hospital Setting. **Journal of Architectural Engineering**, v. 19, n. 2, p. 134–145, jun. 2013b.

LUCAS, J.; BULBUL, T.; THABET, W. An object-oriented model to support healthcare facility information management. **Automation in Construction**, v. 31, p. 281–291, 2013.

LUIZ DA SILVA, J.; LOPES VIEIRA, A. C.; VASCONCELOS SILVA, S. A R T I G O Modelos de Maturidade Digital: Um Estudo de Caracterização Baseado na Revisão Sistemática de Literatura. 2024.

MANSOURI, S.; CASTRONOVO, F.; AKHAVIAN, R. Analysis of the Synergistic Effect of Data Analytics and Technology Trends in the AEC/FM Industry. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 146, n. 3, mar. 2020.

MANZIONE, L.; WYSE, M.; MELHADO, S. DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO NA ANÁLISE E MELHORIA DA GESTÃO DO FLUXO DE INFORMAÇÕES DO PROCESSO DE PROJETO EM BIM. 2011.

MARMO, R. et al. A methodology for a performance information model to support facility management. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 24, 2019.

MARMO, R. et al. Building performance and maintenance information model based on IFC schema. **Automation in Construction**, v. 118, 1 out. 2020.

MATARNEH, S. et al. BIM-based facilities information: streamlining the information exchange process. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 17, n. 6, p. 1304–1322, 8 nov. 2019a.

MATARNEH, S. T. et al. **Building information modeling for facilities management: A literature review and future research directions**. **Journal of Building Engineering**Elsevier Ltd, , 1 jul. 2019b.

MATARNEH, S. T. et al. BIM for FM: Developing information requirements to support facilities management systems. **Facilities**, v. 38, n. 5–6, p. 378–394, 2 mar. 2020.

MCARTHUR, J. J. **A Building Information Management (BIM) Framework and Supporting Case Study for Existing Building Operations, Maintenance and Sustainability**. Procedia Engineering. **Anais**...Elsevier Ltd, 2015.

MERINO, J. et al. Data integration for digital twins in the built environment based on federated data models. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Smart Infrastructure and Construction**, v. 176, n. 4, p. 194–211, 21 set. 2023.

MIARA, R. D. **BIM PARA A SEGURANÇA DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. [s.l: s.n.].

MOBLEY, R. K. **An Introduction to Predictive Maintenance**. 2002. ed. New York: [s.n.].

MOHER, D. et al. **Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement**. **PLoS Medicine**Public Library of Science, , 1 jul. 2009.

MORAIS, G. A. T. DE; ALMEIDA FILHO, A. T. DE; PALHA, R. P. BIM para gerenciamento, operação e manutenção de instalações: revisão cientométrica e sistemática. **Ambiente Construído**, v. 24, dez. 2024.

MORETTI, N. et al. Maintenance service optimization in smart buildings through ultrasonic sensors network. **Intelligent Buildings International**, v. 13, n. 1, p. 4–16, 2021.

MOTAMEDI, A. et al. Extending IFC to incorporate information of RFID tags attached to building elements. **Advanced Engineering Informatics**, v. 30, n. 1, p. 39–53, 1 jan. 2016.

MOTAMEDI, A.; HAMMAD, A.; ASEN, Y. Knowledge-assisted BIM-based visual analytics for failure root cause detection in facilities management. **Automation in Construction**, v. 43, p. 73–83, 2014.

MUNIR, M. et al. BIM business value for asset owners through effective asset information management. **Facilities**, v. 38, n. 3–4, p. 181–200, 5 fev. 2020a.

MUNIR, M. et al. BIM-based operational information requirements for asset owners. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 16, n. 2, p. 100–114, 3 mar. 2020b.

NI, Y.; SUN, B.; WANG, Y. Blockchain-Based BIM Digital Project Management Mechanism Research. **IEEE Access**, v. 9, p. 161342–161351, 2021.

NICAŁ, A. K.; WODYŃSKI, W. Enhancing Facility Management through BIM 6D. **Procedia Engineering**, v. 164, p. 299–306, 1 jan. 2016.

NIKNAM, M.; KARSHENAS, S. A shared ontology approach to semantic representation of BIM data. **Automation in Construction**, v. 80, p. 22–36, 1 ago. 2017.

OLBRICH, M. et al. **Augmented reality supporting user-centric building information management**. Visual Computer. **Anais**...out. 2013.

OLIVEIRA, A. et al. DEVELOPMENT OF STANDARD-BASED INFORMATION REQUIREMENTS FOR THE FACILITY MANAGEMENT OF A CANTEEN. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 29, p. 281–307, 2024.

ORASKARI, J. et al. Sharing Linked Building Data in a Peer-to-Peer Network: ifcOWL Meets InterPlanetary File System. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 38, n. 1, jan. 2024.

OZTURK, G. B. Interoperability in building information modeling for AECO/FM industry. **Automation in Construction**, v. 113, 1 maio 2020.

PACIOS ÁLVAREZ, A. et al. Opportunities in airport pavement management: Integration of BIM, the IoT and DLT. **Journal of Air Transport Management**, v. 90, 1 jan. 2021.

PALHA, R. P.; HÜTTL, R. M. C.; DA COSTA E SILVA, A. J. BIM interoperability for small residential construction integrating warranty and maintenance management. **Automation in Construction**, v. 166, 1 out. 2024.

PARIDA, A.; KUMAR, U. Maintenance performance measurement (MPM): Issues and challenges. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 12, n. 3, p. 239–251, 2006.

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, 1 ago. 2017.

PÄRN, E. A.; EDWARDS, D. J.; SING, M. C. P. **The building information modelling trajectory in facilities management: A review**. **Automation in Construction**Elsevier B.V., , 1 mar. 2017.

PATACAS, J. et al. **BIM for facilities management: evaluating BIM standards in asset register creation and service lifeJournal of Information Technology in Construction (ITcon)**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.itcon.org/2015/20>.

PATACAS, J.; DAWOOD, N.; KASSEM, M. BIM for facilities management: A framework and a common data environment using open standards. **Automation in Construction**, v. 120, 1 dez. 2020.

PEKTAS, S. T. Parametric Design as a Tool/As a Goal: Shifting Focus from Form to Function. Em: **Transforming Issues in Housing Design**. [s.l.] wiley, 2023. p. 221–232.

PIASECKIENĖ, G. DIMENSIONS OF BIM IN LITERATURE: REVIEW AND ANALYSIS. **Mokslas - Lietuvos ateitis**, v. 14, n. 0, p. 1–11, 9 fev. 2022.

PINTI, L.; CODINHOTO, R.; BONELLI, S. **A Review of Building Information Modelling (BIM) for Facility Management (FM): Implementation in Public Organisations**. **Applied Sciences (Switzerland)**MDPI, , 1 fev. 2022.

QUINN, C. et al. Building automation system - BIM integration using a linked data structure. **Automation in Construction**, v. 118, 1 out. 2020.

ROGAGE, K. et al. Assessing building performance in residential buildings using BIM and sensor data. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, v. 38, n. 1, p. 176–191, 20 jan. 2020.

ROGAGE, K.; GREENWOOD, D. Data transfer between digital models of built assets and their operation & maintenance systems. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 25, p. 469–481, 1 out. 2020.

SAAD, A.; AJAYI, S. O.; ALAKA, H. A. Trends in BIM-based plugins development for construction activities: a systematic review. **International Journal of Construction Management**, v. 23, n. 16, p. 2756–2768, 2023.

SACKS, R. et al. **Bim Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers**. 3. ed. [s.l: s.n.].

SACKS, R. et al. **Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice.** 1st Edition ed. New York: Routledge, 2018b.

SALZANO, A. et al. **Existing assets maintenance management: Optimizing maintenance procedures and costs through BIM tools**. **Automation in Construction**Elsevier B.V., , 1 maio 2023.

SAMPAIO, R. P.; COSTA, A. A.; FLORES-COLEN, I. A discussion of digital transition impact on facility management of hospital buildings. **Facilities**, v. 41, n. 5–6, p. 389–406, 11 abr. 2023.

SARKAR, D.; DHANESHWAR, D.; RAVAL, P. Automation in Monitoring of Construction Projects Through BIM-IoT-Blockchain Model. **Journal of The Institution of Engineers (India): Series A**, v. 104, n. 2, p. 317–333, 1 jun. 2023.

SEIXAS, R. DE M. et al. Building Information Modeling (BIM) para gestão da segurança do trabalho em obras de habitações populares. **Ambiente Construído**, v. 22, n. 3, p. 235–254, set. 2022.

SEYIS, S. Mixed method review for integrating building information modeling and life-cycle assessments. **Building and Environment**, v. 173, 15 abr. 2020.

SHALABI, F.; TURKAN, Y. IFC BIM-Based Facility Management Approach to Optimize Data Collection for Corrective Maintenance. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 31, n. 1, fev. 2017.

SHIN, S.; MOON, H.; SHIN, J. BIM-Based Maintenance Data Processing Mechanism through COBie Standard Development for Port Facility. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 12, n. 3, 1 fev. 2022.

SHOHET, I. M. Key Performance Indicators for Strategic Healthcare Facilities Maintenance. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 132, n. 4, p. 345–352, abr. 2006.

SINGH, A. K.; KUMAR, V. R. P. Analyzing the barriers for blockchain-enabled BIM adoption in facility management using best-worst method approach. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 14, n. 2, p. 164–183, 14 mar. 2024.

SÖDERLUND, J. et al. EXPLORING THE USE OF PARAMETRIC DESIGN IN THE AEC SECTOR TO IMPROVE AND ENSURE QUALITY OF DRAWINGS. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 29, p. 850–863, 2024.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357–375, 1 maio 2009.

SUCCAR, B. Building Information Modelling Maturity Matrix. Em: [s.l: s.n.]. p. 65–103.

SUCCAR, B.; KASSEM, M. Macro-BIM adoption: Conceptual structures. **Automation in Construction**, v. 57, p. 64–79, 1 set. 2015.

TEICHOLZ, P. **BIM for Facility Managers**. 1st. ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2013.

TERRENO, S.; ASADI, S.; ANUMBA, C. **An exploration of synergies between lean concepts and BIM in FM: A review and directions for future research**. **Buildings**MDPI AG, , 2019.

THABET, W.; LUCAS, J. Asset Data Handover for a Large Educational Institution: Case-Study Approach. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 143, n. 11, nov. 2017a.

THABET, W.; LUCAS, J. D. **A 6-STEP SYSTEMATIC PROCESS FOR MODEL-BASED FACILITY DATA DELIVERYJournal of Information Technology in Construction (ITcon)**. [s.l.] Thabet & Lucas, 2017b. Disponível em: <http://www.itcon.org/2017/6>.

TOYIN, J. O. et al. INVESTIGATING THE INFLUENCE OF ICT APPLICATION IN CONSTRUCTION JOBSITES: A SYSTEMATIC REVIEW AND BIBLIOMETRIC ANALYSIS. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 29, p. 444–479, 2024.

VIANA, V.; CARVALHO, M. **AVALIAÇÃO DA MATURIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO BIM NO CONTEXTO DE ÓRGÃOS PÚBLICOS BRASILEIROS**. [s.l: s.n.].

VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. **Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs**. **Automation in Construction**, mar. 2014.

WANG, B. et al. Fully automated generation of parametric BIM for MEP scenes based on terrestrial laser scanning data. **Automation in Construction**, v. 125, 1 maio 2021.

WANG, R.; ABDUL-SAMAD, Z.; SALLEH, H. Systematic literature review of BIM application in the whole life cycle of green building projects. **Advances in Building Energy Research**, 2024.

WERBROUCK, J. et al. Scan-to-graph: Semantic enrichment of existing building geometry. **Automation in Construction**, v. 119, 1 nov. 2020.

WIGGINS, J. M. **Facilities Manager's Desk Reference**. 3rd. ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2021.

WIJEKOON, C.; MANEWA, A.; ROSS, A. D. Enhancing the value of facilities information management (FIM) through BIM integration. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 27, n. 4, p. 809–824, 21 abr. 2020.

WOODHOUSE, J. **Asset Management: concepts & practices**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228905772>.

XU, J. **Research on Application of BIM 5D Technology in Central Grand Project**. Procedia Engineering. **Anais**...Elsevier Ltd, 2017.

YALCINKAYA, M.; SINGH, V. VisualCOBie for facilities management: A BIM integrated, visual search and information management platform for COBie extension. **Facilities**, v. 37, n. 7–8, p. 502–524, 10 abr. 2019a.

YALCINKAYA, M.; SINGH, V. Exploring the use of Gestalt's principles in improving the visualization, user experience and comprehension of COBie data extension. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 26, n. 6, p. 1024–1046, 10 jul. 2019b.

YANG, X.; ERGAN, S. BIM for FM: Information Requirements to Support HVAC-Related Corrective Maintenance. **Journal of Architectural Engineering**, v. 23, n. 4, dez. 2017.

YOON, J. H.; CHA, H. S.; KIM, J. Three-Dimensional Location-Based O&M Data Management System for Large Commercial Office Buildings. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 33, n. 2, abr. 2019.

ZHANG, T.; DOAN, D. T.; KANG, J. **Application of building information modeling-blockchain integration in the Architecture, Engineering, and Construction / Facilities Management industry: A review**. **Journal of Building Engineering**Elsevier Ltd, , 15 out. 2023.

ZHAO, J. et al. Developing a conceptual framework for the application of digital twin technologies to revamp building operation and maintenance processes. **Journal of Building Engineering**, v. 49, 15 maio 2022.

ZHUANG, D. et al. A performance data integrated BIM framework for building life-cycle energy efficiency and environmental optimization design. **Automation in Construction**, v. 127, 1 jul. 2021.

ZOHRA BERRABAH, F.; BELKACEMIC, C.; ZEMMOUCHI-GHOMARI, L. Essential and New Maintenance KPIs Explained. **International Journal of Education and Management Engineering**, v. 12, n. 6, p. 11–20, 8 dez. 2022.

ZORZELA, L. et al. **PRISMA harms checklist: Improving harms reporting in systematic reviews**. **The BMJ**BMJ Publishing Group, , 1 fev. 2016.

APÊNDICE A – ARTIGOS INCLUÍDOS NA REVISÃO SISTEMÁTICA

Nº	Autores	Ano	Periódico	DOI
01	Jia, J.; Ma, H.; Zhang, Z.	2024	Buildings	10.3390/buildings14040911
02	Almatared, M. *et al.*	2024	Buildings	10.3390/buildings14010004
03	Guo, Z. *et al.*	2024	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2024.105514
04	Oraskari, J. *et al.*	2024	Journal of Computing in civil Engineering	10.1061/JCCEE5.CPENG-5381
05	Elnour, M. *et al.*	2024	Building Services Engineering Research and Technology	10.1177/01436244241239290
06	Oliveira, A. *et al.*	2024	Journal of Information Technology in Construction	10.36680/j.itcon.2024.014
07	Palha, R. *et al.*	2024	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2024.105639

08	Abdelkarim, S. *et al.*	2024	Journal of Management in Engineering	10.1061/JMENEA.MEENG-5623
09	Liang, R. *et al.*	2024	Science and Technology for the Built Environment	10.1080/23744731.2024.2351310
10	Chang, J.; Xie, X.; Parlikad, A.	2024	Built Environment Project and Asset Management	10.1108/BEPAM-12-2023-0247
11	Desbalo, M. *et al.*	2024	Heliyon	10.1016/j.heliyon.2024.e33026
12	Musharavati, F.	2023	Buildings	10.3390/buildings13123051
13	Demirdögen, G. *et al.*	2023	Journal of Building Engineering	10.1016/j.jobe.2022.105713
14	Merino, J. *et al.*	2023	Proceedings of the Institution of civil engineers: Smart infrastructure and construction	10.1680/jsmic.23.00002
15	Arsiwala, A. *et al.*	2023	Energy and Buildings	10.1016/j.enbuild.2023.112851

16	Sarkar, D. *et al.*	2023	Journal of the Institution of Engineers (India): series a	10.1007/s40030-023-00727-8
17	Salzano, A. *et al*	2023	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2023.104788
18	Pedral, S. R. *et al.*	2023	Facilities	10.1108/F-07-2022-0092
19	Benn, M.; Stoy, C.	2023	Developments in the Built Environment	10.1016/j.dibe.2023.100224
20	Cepa, J. *et al.*	2023	Journal of Civil Engineering and Management	10.3846/jcem.2023.19514
21	Zhang, T. *et al.*	2023	Journal of Building Engineering Automation in Construction	10.1016/j.jobe.2023.107551 10.1016/j.autcon.2017.11.009
22	Zhao, J. *et al.*	2022	Journal of Building Engineering	10.1016/j.jobe.2022.104028
23	Abideen, D. *et al.*	2022	Sustainability (Switzerland)	10.3390/su14148692

24	Khan, M. *et al.*	2022	Buildings	10.3390/buildings12070964
25	Artan, D. *et al.*	2022	Journal of Information Technology in Construction	10.36680/j.itcon.2022.022
26	Alavi, H.; Bortolini, R.; Forcada, N.	2022	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2021.104117
27	Pinti, L.; Bonelli, S.	2022	Buildings	10.3390/buildings12091360
28	Hosamo, H. *et al.*	2022	Advances in Civil Engineering	10.1155/2022/2185170
29	Cocco, L. *et al.*	2022	Future Internet	10.3390/fi14050140
30	Alavi, H.; Forcada, N.	2022	Energies	10.3390/en15103674
31	Wildenauer, A. *et al.*	2022	Buildings	10.3390/buildings12101594

32	Shin, S. *et al.*	2022	Applied Sciences (Switzerland)	10.3390/app12031304
33	Wang, T. *et al.*	2022	Ain Shams Engineering Journal	10.1016/j.asej.2022.101717
34	Godager, B. *et al.*	2022	Journal of Information Technology in Construction	10.36680/j.itcon.2022.053
35	Kamal, Z. *et al.*	2021	Journal of Performance of Constructed Facilities	10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001604
36	Ma, J. *et al.*	2021	Advanced Engineering Informatics	10.1016/j.aei.2021.101417
37	Romero-Jarén, R.; Arranz, J.	2021	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2021.103576
38	Godager, B. *et al.*	2021	Ieee Access	10.1109/ACCESS.2021.3065116
39	Chen, K.; Tsai, M.	2021	Sensors	10.3390/s21144771

40	Ni, Y. *et al.*	2021	Ieee Access	10.1109/ACCESS.2021.3130270
41	Kameli, M. *et al.*	2021	Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing	10.1007/s12652-020-02464-3
42	Kumar, V.; Teo, A.	2021	Journal of Computational Design and Engineering	10.1093/jcde/qwaa083
43	Zhuang, D. *et al.*	2021	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2021.103712
44	Moretti, N. *et al*	2021	Intelligent Buildings International	10.1080/17508975.2020.1765723
45	Jofré-Briceño, C. *et al.*	2021	Sensors	10.3390/s21196686
46	Wang, B. *et al.*	2021	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2021.103615
47	Abdirad, H.; Dossick, C.	2020	Journal of Computing in Civil Engineering	10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000868

48	Marmo, R. *et al.*	2020	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2020.103275
49	Wijekoon, C. *et al.*	2020	Engineering, Construction and Architectural Management	10.1108/ECAM-02-2016-0041
50	Jang, R.; Collinge, W.	2020	Journal of Building Engineering	10.1016/j.jobe.2020.101540
51	Kameli, M. *et al.*	2020	Canadian Journal of Civil Engineering	10.1139/cjce-2019-0107
52	Werbrouck, J. *et al.*	2020	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2020.103286
53	Chen, L. *et al.*	2020	Tunnelling and Underground Space Technology	10.1016/j.tust.2019.103262
54	Ozturk, G.	2020	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2020.103122
55	Rogage, K. *et al.*	2020	International Journal of Building Pathology and Adaptation	10.1108/IJBPA-01-2019-0012

56	Mansouri, S. *et al.*	2020	Journal of Construction Engineering and Management	10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001759
57	Munir, M. *et al.*	2020	Architectural Engineering and Design Management	10.1080/17452007.2019.1706439
58	Matarneh, S. *et al.*	2020	Facilities	10.1108/F-07-2018-0084
59	Patacas, J. *et al.*	2020	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2020.103366
60	Quinn, C. *et al.*	2020	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2020.103257
61	Rogage, K.; Greenwood, D.	2020	Journal of Information Technology in Construction	10.36680/J.ITCON.2020.027
62	Munir, M. *et al.*	2020	Facilities	10.1108/F-03-2019-0036
63	Hilal, M. *et al.*	2019	Construction Innovation	10.1108/CI-05-2018-0043

64	Baek, F. *et al.*	2019	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2018.11.034
65	Matarneh, S. *et al.*	2019	Journal of Engineering, Design and Technology	10.1108/JEDT-02-2019-0048
66	Hsieh, C. *et al.*	2019	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2018.12.023
67	El A. K.; Hammad, A.	2019	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2019.102940
68	Terreno, S. *et al.*	2019	Buildings	10.3390/BUILDINGS9060147
69	Chen, C.; Tang, L.	2019	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2019.102944
70	Yalcinkaya, M.; Singh, V.	2019	Engineering, Construction and Architectural Management	10.1108/ECAM-10-2017-0226
71	Bortoluzzi, B. *et al.*	2019	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2019.102838

72	Yoon, J. *et al.*	2019	Journal of Performance of Constructed Facilities	10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001270
73	Marmo, R. *et al.*	2019	Sustainability (Switzerland)	10.3390/su11247007
74	Matarneh, S. *et al.*	2019	Journal of Building Engineering	10.1016/j.jobe.2019.100755
75	Yalcinkaya, M.; Singh, V.	2019	Facilities	10.1108/F-01-2018-0011
76	Lavy, S. *et al.*	2019	Journal of Performance of Constructed Facilities	10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001333
77	Heaton, J. *et al.*	2019	Computers In Industry	10.1016/j.compind.2019.08.001
78	Wetzel, E. *et al.*	2018	Journal of Information Technology in Construction	
79	Farghaly, K. *et al.*	2018	Journal of Management in Engineering	10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000610

80	Lin, Y. *et al.*	2018	Advanced Engineering Informatics	10.1016/j.aei.2018.04.001
81	Lee, Y. *et al.*	2018	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2017.08.010
82	Carreira, P. *et al.*	2018	Engineering, Construction and Architectural Management	10.1108/ECAM-09-2016-0198
83	Hu, Z. *et al.*	2018	Advances in Engineering Software	10.1016/j.advengsoft.2017.08.007
84	Kim, K. *et al.*	2018	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2017.12.019
85	Mirarchi, C. *et al.*	2018	ISPRS International Journal of Geo-Information	10.3390/IJGI7050191
86	Bruno, S. *et al.*	2018	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2017.11.009
87	Pärn, E. *et al.*	2017	automation in construction	10.1016/j.autcon.2016.12.003

88	Shalabi, F.; Turkan, Y.	2017	Journal of Performance of Constructed Facilities	10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000941
89	Yang, X.; Ergan, S.	2017	Journal of Architectural Engineering	10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000272
90	Thabet, W.; Lucas, J.	2017	Journal of Information Technology in Construction	
91	Thabet, W.; Lucas, J.	2017	Journal of Construction Engineering and Management	10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001389
92	Niknam, M.; Karshenas, S.	2017	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2017.03.013
93	Motamedi, A. *et al.*	2016	Advanced Engineering Informatics	10.1016/j.aei.2015.11.004
94	Oti, A. *et al.*	2016	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2016.08.043
95	Hu, Z. *et al.*	2016	Advances in Engineering Software	10.1016/j.advengsoft.2016.07.006

96	Patacas, J. *et al.*	2016	Journal of Information Technology in Construction	
97	Kang, T.; Hong, C.	2015	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2015.03.019
98	Alwan, Z.; Gledson, B.	2015	Built Environment Project and Asset Management	10.1108/BEPAM-03-2014-0020
99	Korpela, J. *et al.*	2015	Construction Management and Economics	10.1080/01446193.2015.1016540
100	Cavka, H. *et al.*	2015	Buildings	
101	Patacas, J. *et al.*	2015	Journal of Information Technology in Construction	
102	Kassem, M. *et al.*	2015	Built Environment Project and Asset Management	10.1108/BEPAM-02-2014-0011
103	Lin, Y. *et al.*	2014	Scientific World Journal	10.1155/2014/374735

104	Codinhoto, R.; Kiviniemi, A.	2014	IFIP Advances in Information and Communication Technology	10.1007/978-3-662-45937-9_7
105	Motamedi, A. *et al.*	2014	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2014.03.012
106	Lucas, J. *et al.*	2013	Automation in Construction	10.1016/j.autcon.2012.12.014
107	Lucas, J. *et al.*	2013	Journal of Architectural Engineering	10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000111
108	Lucas, J. *et al.*	2013	Journal of Information Technology in Construction	
109	Olbrich, M. *et al.*	2013	Visual Computer	10.1007/s00371-013-0840-2
110	Hallberg, D.; Tarandi, V.	2011	Electronic Journal of Information Technology in Construction	

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO APLICADO NA PESQUISA

Objetivo do questionário: Este questionário tem como objetivo avaliar o conhecimento dos envolvidos em *Facilities Management* (FM) sobre *Building Information Modeling* (BIM), bem como compreender sua percepção sobre a importância e desafios da implementação do BIM-FM na UFPE. Além disso, visa identificar quais informações os profissionais consideram fundamentais para a realização eficaz da manutenção, contribuindo assim para justificar a implementação do BIM.

Aplicação: Através do Google *forms*.

1. Qual é o seu cargo ou função na UFPE?
   - 1: Arquiteto (a)
   - 2: Engenheiro (a) Civil
   - 3: Engenheiro (a) Mecânico (a)
   - 4: Outro (por favor, especifique): _____

2. Em uma escala de 1 a 5, qual é o seu nível de familiaridade com o conceito de BIM-FM?

BIM-FM (Building Information Modeling para Facility Management) é a combinação do modelo digital detalhado de um edifício (BIM) com a gestão de suas instalações (FM). Esse conceito ajuda na operação, manutenção e gestão de edifícios de forma mais eficiente, usando informações precisas do modelo digital ao longo de toda a vida útil do edifício.

   - 1: Não familiarizado
   - 2: Pouco familiarizado
   - 3: Neutro
   - 4: Familiarizado
   - 5: Muito familiarizado

3. Você acredita que a implementação do BIM-FM *(Building Information Modeling* para *Facility Management)* pode melhorar a eficiência da gestão de instalações na UFPE?
   - 1: Discordo plenamente
   - 2: Discordo
   - 3: Neutro
   - 4: Concordo
   - 5: Concordo plenamente

4. Quais dos seguintes desafios você considera mais importantes para a implementação bem-sucedida do BIM-FM *(Building Information Modeling* para *Facility Management)* na UFPE? (Marque todas as opções que se aplicam)

- 1: Falta de conhecimento sobre BIM-FM
- 2: Limitações de recursos financeiros
- 3: Resistência à mudança por parte dos funcionários
- 4: Falta de suporte da administração
- 5: Outro (por favor, especifique): _____

5. Em uma escala de 1 a 5, como você avalia o impacto do atual processo de obtenção de informações na UFPE (que requer solicitação a outros departamentos para acesso a projetos e informações) na eficiência do trabalho de manutenção?

- 1: Impacto muito baixo
- 2: Impacto baixo
- 3: Neutro
- 4: Impacto alto
- 5: Impacto muito alto

6. Em uma escala de 1 a 5, como você avalia o impacto da falta de um servidor que armazene todas as informações em BIM para consulta dos profissionais de FM na UFPE?

- 1: Impacto muito baixo
- 2: Impacto baixo
- 3: Neutro
- 4: Impacto alto
- 5: Impacto muito alto

7. Em uma escala de 1 a 5, como você avalia o impacto da falta de acesso a softwares de visualização, como o AutoCAD ou Revit, na eficácia da gestão de instalações na UFPE?

- 1: Impacto muito baixo
- 2: Impacto baixo
- 3: Neutro
- 4: Impacto alto
- 5: Impacto muito alto

8. Em uma escala de 1 a 5, como você avalia o impacto do acesso ao histórico das manutenções realizadas na eficácia da gestão de instalações na UFPE?

- 1: Impacto muito baixo
- 2: Impacto baixo
- 3: Neutro
- 4: Impacto alto
- 5: Impacto muito alto

9. Classifique as seguintes informações de acordo com sua importância para otimizar o processo de manutenção na UFPE, onde 1 é a mais importante e 5 é a menos importante:

- 1: Localização dos elementos
- 2: Especificações técnicas dos elementos
- 3: Histórico de manutenção
- 4: Manuais de instruções de manutenção
- 5: Relatórios de testes de manutenção

10. Você sente falta de alguma outra informação que não tenha sido listada acima? Se sim, qual?

Resposta:

11. Que tipo de apoio ou recursos você acha necessário para facilitar a transição para o BIM-FM na UFPE? (Marque todas as opções que se aplicam)

- 1: Treinamento e capacitação adicionais
- 2: Disponibilização de recursos educacionais sobre BIM-FM
- 3: Suporte técnico contínuo
- 4: Investimento em tecnologia e infraestrutura
- 5: Outro (por favor, especifique): _____

APÊNDICE C – ROTEIRO DAS ENTREVISTAS SEMIESTRUTURADAS

Objetivo da entrevista:

Este questionário tem como objetivo avaliar o conhecimento dos envolvidos em *Facilities Management* (FM) sobre *Building Information Modeling* (BIM), bem como compreender sua percepção sobre a importância e desafios da implementação do BIM-FM na UFPE. Além disso, visa identificar quais informações os profissionais consideram fundamentais para a realização eficaz da manutenção, contribuindo assim para justificar a implementação do BIM.

Dados do Entrevistado

Nome:

Cargo:

Departamento:

Tempo no Cargo Atual:

Tempo Total na UFPE:

Formação Acadêmica:

1. Situação Atual da Gestão da Informação

1.1. Poderia descrever como a gestão da informação é atualmente conduzida em seu departamento?

1.2. Quais são os principais desafios enfrentados na gestão da informação no seu setor?

2. Acesso à Informação

2.1. Como os funcionários do seu departamento acessam as informações necessárias para realizar suas tarefas diárias?

2.2. Existem procedimentos ou sistemas específicos para o armazenamento e recuperação de informações?

3. Software de Manutenção

3.1. Seu departamento utiliza algum software específico para a gestão da manutenção? Se sim, qual?
3.2. Quais são as funcionalidades principais desse software e como ele auxilia na gestão das operações de manutenção?

4. Eficácia na Acesso à Informação

4.1. Quão eficaz você considera o sistema atual de acesso à informação para suportar as atividades de manutenção e gestão de equipamentos?
4.2. Existem dificuldades ou limitações no acesso à informação que impactam a eficiência do departamento?

5. Conhecimento e Percepção sobre BIM

5.1. Você está familiarizado(a) com o conceito de BIM (*Building Information Modeling*)?
5.2. Qual é a sua percepção sobre os possíveis benefícios que o BIM poderia trazer para a gestão de instalações e manutenção?
5.3. Existem barreiras ou desafios que você prevê para a implementação do BIM no seu departamento?

6. Melhoria na Gestão da Informação

6.1. Quais melhorias ou inovações você gostaria de ver implementadas na gestão da informação em seu departamento?
6.2. Existem planos futuros para adotar novas tecnologias ou sistemas que possam melhorar a gestão da informação?

7. Experiência com Tecnologias Digitais

7.1. Além do software de manutenção, seu departamento utiliza outras tecnologias digitais para a gestão das instalações? Se sim, quais?
7.2. Qual é a sua avaliação sobre o impacto dessas tecnologias na eficiência e eficácia das operações do departamento?

8. Comunicação e Colaboração

8.1. Como é realizada a comunicação e a colaboração entre os diferentes departamentos envolvidos na manutenção e gestão das instalações?

8.2. Existem ferramentas ou plataformas específicas que facilitam essa comunicação e colaboração?

9. Dados e Análise

9.1. Como são coletados, armazenados e analisados os dados relacionados à manutenção e gestão de instalações?

9.2. Quão importantes são as análises de dados para a tomada de decisões no seu departamento?

10. Sustentabilidade e Eficiência Energética

10.1. Existem iniciativas ou práticas voltadas para a sustentabilidade e eficiência energética nas operações de manutenção?

10.2. Como a gestão da informação na UFPE pode contribuir para alcançar metas de sustentabilidade?

10.3 Existe alguma prática relacionado ao tema de sustentabilidade e Eficiência Energética você consideraria relevante e viável ser adotado pela UFPE?

11. Conclusão

Gostaria de adicionar algo mais que não foi abordado durante a entrevista?