



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MAYCON HANDERSON DE OLIVEIRA BESSA

**GESTÃO DA MANUTENÇÃO E MITIGAÇÃO DE RISCOS EM SISTEMAS DE
PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS POR MEIO
DE BIM/FM E ESTRUTURAÇÃO SISTÊMICA DA INFORMAÇÃO**

RUSSAS

2026

MAYCON HANDERSON DE OLIVEIRA BESSA

GESTÃO DA MANUTENÇÃO E MITIGAÇÃO DE RISCOS EM SISTEMAS DE
PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS POR MEIO DE
BIM/FM E ESTRUTURAÇÃO SISTÊMICA DA INFORMAÇÃO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dra. Mylene de Melo Vieira.

Coorientador: Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita.

RUSSAS

2026

MAYCON HANDERSON DE OLIVEIRA BESSA

GESTÃO DA MANUTENÇÃO E MITIGAÇÃO DE RISCOS EM SISTEMAS DE
PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS POR MEIO DE
BIM/FM E ESTRUTURAÇÃO SISTÊMICA DA INFORMAÇÃO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Engenharia Civil.

Aprovado em: 25/02/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Mylene de Melo Vieira (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. João da Costa Pantoja
Universidade de Brasília (UNB)

Prof. Dr. Eudes de Arimatéa Rocha
Universidade de Pernambuco (UPE)

A Deus.

À minha mãe, Ivaldene, ao meu pai, Helder, e
à minha companheira, Gabriela, pelo apoio,
incentivo e confiança constantes ao longo
desta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, registro minha gratidão a Deus, por ter me concedido saúde, perseverança e discernimento ao longo de toda esta caminhada, possibilitando a superação dos desafios enfrentados e a conclusão de uma etapa determinante da minha trajetória acadêmica e pessoal.

À minha mãe, Maria Ivaldene de Oliveira, ao meu pai, José Helder Bessa, e à minha irmã, Layane Cristina de Oliveira Bessa, pelo constante apoio, incentivo e compreensão durante todo o período do mestrado. A presença e o estímulo da família foram fundamentais para que este percurso fosse conduzido de forma mais serena e significativa.

À minha companheira, Gabriela Lemos, pelo apoio contínuo, pela paciência diante das ausências, das noites dedicadas aos estudos e das renúncias impostas pela rotina acadêmica. Sua compreensão, incentivo e presença foram essenciais para que eu pudesse seguir firme neste processo de formação.

À minha avó, tios e primos, pelo carinho, pelas palavras de incentivo e pela confiança permanente em minha trajetória, sempre demonstrando apoio às minhas escolhas e à busca pelos meus objetivos.

Aos colegas do mestrado, pela convivência, pelo companheirismo e pelo compartilhamento de experiências ao longo desta jornada, marcada por desafios comuns, aprendizados coletivos e pela convivência entre estudantes oriundos de diferentes regiões do país, o que tornou a experiência acadêmica ainda mais enriquecedora.

À minha orientadora, professora Dra. Mylene Vieira, pela confiança depositada em meu trabalho, pela orientação técnica rigorosa e, sobretudo, pela sensibilidade humana com que conduziu todo o processo. Sua postura profissional, seu compromisso com a formação acadêmica e seu exemplo pessoal foram determinantes para o meu amadurecimento científico.

Ao projeto Inovação e Tecnologia para o Patrimônio Cultural do Ceará, sob a coordenação do professor Dr. Esequiel Mesquita, pela oportunidade de integração às atividades de pesquisa, pelo apoio institucional e pelo estímulo contínuo desde o período da graduação. A participação neste projeto proporcionou experiências técnicas e científicas relevantes, além da convivência com profissionais altamente qualificados, contribuindo de forma decisiva para a minha formação.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelo apoio financeiro concedido ao desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, agradeço a todas as pessoas e instituições que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e para a consolidação desta etapa tão importante da minha trajetória acadêmica.

“A única maneira de fazer um excelente trabalho é amar o que você faz.”

Steve Jobs

RESUMO

Esta dissertação propõe e valida uma metodologia integrada baseada em Modelagem da Informação da Construção Histórica (*Historic Building Information Modeling* - HBIM) e Gestão de Instalações (*Facility Management* - FM) para apoiar a gestão da manutenção e a mitigação de riscos em sistemas de proteção contra incêndio de edificações históricas. A abordagem é orientada à estruturação sistêmica da informação, à automação dos processos de manutenção e ao suporte à tomada de decisão em contextos operacionais e emergenciais, considerando as restrições técnicas, construtivas e patrimoniais inerentes a esse tipo de ativo. A metodologia foi aplicada por meio de um estudo de caso no Teatro José de Alencar, envolvendo diagnóstico técnico *in loco*, definição de requisitos informacionais para operação e manutenção, desenvolvimento de um modelo HBIM simplificado orientado a sistemas, enriquecimento semântico dos elementos, estruturação de planos de manutenção e integração automatizada dos dados no ambiente de modelagem. Adicionalmente, foi desenvolvida uma estrutura de informação do ativo centrada em sistemas e laços operacionais, integrada a uma base de dados relacional e a um ambiente de visualização, permitindo a análise das interdependências funcionais e a simulação de cenários de falha nos sistemas de detecção e supressão de incêndio. Os resultados demonstram a viabilidade de um modelo digital enxuto, com significativa redução da complexidade e do volume de informações, sem prejuízo dos requisitos informacionais necessários à operação e à manutenção. A organização dos ativos por taxonomia funcional e por laços operacionais possibilitou a identificação de zonas de impacto e a ampliação da capacidade de resposta em situações críticas. Como principais contribuições, destacam-se o desenvolvimento do framework F2SM, a proposição de uma estratégia de dissociação entre geometria e informação orientada à manutenção, e a estruturação sistêmica da informação como base para a gestão da manutenção e a mitigação de riscos em edificações históricas.

Palavras-chave: HBIM; BIM; gestão de instalações; sistema de manutenção; automação; SQL; gestão de riscos.

ABSTRACT

This dissertation proposes and validates an integrated methodology based on Historic Building Information Modeling (HBIM) and Facility Management (FM) to support maintenance management and risk mitigation of fire protection systems in historic buildings. The approach is oriented toward systemic information structuring, automation of maintenance processes, and decision support in operational and emergency contexts, considering the technical, constructive, and heritage-related constraints inherent to this type of built asset. The methodology was applied through a case study conducted at the José de Alencar Theatre, comprising on-site technical assessment, definition of operation and maintenance-oriented information requirements, development of a system-oriented and simplified HBIM model, semantic enrichment of building elements, structuring of maintenance plans, and automated integration of maintenance data within the modeling environment. In addition, an asset information structure centered on systems and operational loops was developed and integrated with a relational database and a visualization environment, enabling the analysis of functional interdependencies and the simulation of failure scenarios in fire detection and suppression systems. The results demonstrate the feasibility of a lean digital model, achieving a significant reduction in model complexity and data volume without compromising the information requirements necessary for operation and maintenance. The organization of assets according to functional taxonomy and operational loops enabled the identification of impact zones and enhanced response capability in critical situations. The main contributions include the development of the F2SM framework, the adoption of a maintenance-oriented strategy for decoupling geometry and information, and the proposal of systemic information structuring as a foundation for maintenance management and risk mitigation in historic buildings.

Keywords: HBIM; BIM; facility management; maintenance system; automation; SQL; risk management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Teatro José de Alencar	37
Figura 2 - Fluxograma metodológico do modelo F2SM.....	38
Figura 3 - Nuvem de Pontos existente do Teatro (Vieira <i>et al.</i> , 2023).....	40
Figura 4 - Nível de Necessidade de Informação (LOIN) para um modelo BIM que dê suporte à manutenção.	42
Figura 5 - Remova as ferramentas não utilizadas no Autodesk.....	44
Figura 6 - Detalhe da simplificação do modelo arquitetônico digital (Vieira <i>et al.</i> , 2023)....	45
Figura 7 - Detalhe do modelo digital do Sistema de Proteção Contra Incêndio: (a) projeto CAD e (b) sobreposição de nuvem de pontos.	46
Figura 8 - Diálogo “Editar Parâmetros Compartilhados”: (a) criação do arquivo de texto (.txt) e definição de grupos de parâmetros e (b) criação e organização de parâmetros compartilhados.....	47
Figura 9 - A ferramenta <i>DiRootsOne-ParaManager</i> na barra de ferramentas de complementos do Autodesk Revit®	49
Figura 10 - Os dados coletados foram estruturados em três categorias.....	51
Figura 11 - Coleta de dados.....	52
Figura 12 - Definição do Nível de Necessidade de Informação (LOIN) para o Sistema de Hidrantes.....	54
Figura 13 - Detalhes da vistoria no local.....	56
Figura 14 - Detalhe do modelo arquitetônico digital do teatro: (a) modelo de referência e (b) modelo simplificado.....	57
Figura 15 - Modelo digital de sistema de proteção contra incêndio integrado ao modelo arquitetônico para suporte à gestão de instalações.	59
Figura 16 - Fluxograma da rotina.	62
Figura 17 - Algoritmo 1.....	63
Figura 18 - Filtros visuais no modelo F2SM por status.	65
Figura 19 - Aplicação do monitoramento visual no ambiente do modelo F2SM: (a) paleta de propriedades com parâmetros de manutenção do extintor de incêndio, (b) paleta de propriedades com parâmetros de manutenção do hidrante, (c) equipamento sem filtros de visibilidade, (d) equipamento com filtros de visibilidade e (e) cores do status da tarefa.	67
Figura 20 - Ficha de controle do extintor de incêndio FE-01 com código QR para acesso à	

ficha de manutenção.	68
Figura 21 - Fluxo de trabalho: (a) matriz de hierarquia e (b) protocolo de manutenção.....	70
Figura 22 - Algoritmo 2.....	71
Figura 23 - Algoritmo 3.....	73
Figura 24 - Modelo BIM do sistema de proteção contra incêndio: (a) Vista Isométrica e (b) Planta baixa Subsolo do teatro.	80
Figura 25 - Janela de apresentação de estrutura de base de dados no software DB Browser for SQLite da base de dados adotada neste projeto FPS.s3db.....	81
Figura 26 - Janela do software Navisworks ilustrando plataforma visual Navistools DataManager and Reporter.....	82
Figura 27 - Taxonomia do Sistema de Proteção Contra Incêndio.....	84
Figura 28 - Mapeamento do laço operacional (<i>LOOP</i> 02) e visualização do efeito escala no sistema de supressão de incêndio.	85
Figura 29 - Janela <i>Selection Tree</i> , construída com base na lógica do programa nativo origem, e a janela Sets, construída pelo operador direcionando para o gerenciamento almejado.	89
Figura 30 - Visualização integrada dos sistemas de proteção contra incêndio, com codificação por cores para a distinção dos diferentes sistemas e de seus respectivos laços operacionais (loops).....	91
Figura 31 - Visualização do laço operacional (Loop 02) do sistema de sprinklers associado à Room C DR4.....	92
Figura 32 - Simulação de emergência com ativação do SPK13 e isolamento do Loop 02 do sistema de sprinklers, com rastreamento espacial da rede hidráulica e identificação do registro de seccionamento.....	93
Figura 33 - Visualização do laço operacional (Loop 03) do sistema de detecção associado à Room D DR1.	94
Figura 34 - Simulação de emergência com ativação do SD14 e isolamento do Loop 03 do sistema de detecção, com rastreamento espacial da infraestrutura.....	95
Figura 35 - Organização hierárquica dos <i>viewpoints</i> por sistema, laço operacional e ambiente.....	97
Figura 36 - <i>Viewpoints</i> dos subsistemas de detecção e supressão de incêndio: (a) planta baixa do <i>Loop</i> 03 com o detector SD14 (Room D DR1); (b) vista interna com o SD14 e o caminhamento dos eletrodutos; (c) vista isométrica do sistema de sprinklers associada ao SPK13 (Room C DR4); e (d) vista isométrica do	

caminhamento da rede hidráulica do respectivo laço operacional. 98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Detalhes da folha do plano de manutenção.	60
Tabela 2 - Indica os parâmetros, com sua descrição e objetivo, no agrupamento de elementos chuveiros automáticos (Nível 4).	88

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivo	18
1.1.1	<i>Objetivos específicos</i>	18
1.2	Estrutura da dissertação	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1	Gestão e manutenção da proteção contra incêndio: estruturas e melhores práticas	21
2.1.1	<i>Normas para inspeção e manutenção</i>	21
2.1.2	<i>Normas para inspeção e manutenção: padrões brasileiros e adaptação local...</i>	23
2.2	Gestão e integração digital para manutenção preventiva	23
2.3	Estrutura de manutenção compatível com o patrimônio	24
2.4	Gestão de instalações assistida por computador	25
2.5	Modelagem da Informação da Construção e manutenção de instalações	26
2.6	Plano de Execução BIM	27
2.7	Gestão de informações de edifícios	28
2.8	Gestão de sistemas de incêndio	30
3	UMA ESTRUTURA INTEROPERÁVEL EM BIM PARA A GESTÃO AUTOMATIZADA DA MANUTENÇÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM BENS PATRIMONIAIS	34
3.1	Introdução	34
3.2	Metodologia	36
3.2.1	<i>Diagnóstico inicial</i>	38
3.2.2	<i>Plano de Execução BIM</i>	41
3.2.3	<i>Levantamento no local</i>	42
3.2.4	<i>Desenvolvimento de um modelo digital para Sistema de Proteção Contra Incêndio</i>	43
3.2.4.1	<i>Modelo arquitetônico de referência simplificado</i>	43
3.2.4.2	<i>Modelo digital de segurança contra incêndio</i>	45
3.2.5	<i>Enriquecimento semântico</i>	46
3.2.6	<i>Acervo documental</i>	50
3.2.7	<i>Protocolo para o desenvolvimento do modelo F2SM</i>	51
3.3	Resultados e discussões	52

3.3.1	<i>Diagnóstico inicial</i>	52
3.3.2	<i>Plano de Execução BIM</i>	53
3.3.3	<i>Levantamento no local</i>	54
3.3.4	<i>Modelo digital do sistema de proteção contra incêndio</i>	56
3.3.5	<i>Enriquecimento semântico - sistema de controle de datas e rotinas</i>	59
3.3.6	<i>Modelo F2SM</i>	64
3.3.7	<i>Protocolo em BPMN</i>	69
3.4	Comentários finais	73
4	ESTRUTURAÇÃO DE DADOS E ANÁLISE SISTÊMICA DE FALHAS NA GESTÃO DE ATIVOS DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: APLICAÇÃO À MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE DETECÇÃO E DE SUPRESSÃO DE INCÊNDIO	77
4.1	Introdução	77
4.2	Metodologia	79
4.2.1	<i>Organização e gestão da base de dados</i>	81
4.2.2	<i>Taxonomia do sistema de proteção contra incêndio</i>	82
4.2.3	<i>Simulação de cenários</i>	84
4.2.4	<i>Gestão visual</i>	85
4.3	Resultados	86
4.3.1	<i>Gestão da base de dados e taxonomia</i>	86
4.3.2	<i>Simulação de cenários</i>	90
4.3.2.1	<i>Simulação de emergência – acionamento SPK13 (Room C DR4)</i>	91
4.3.2.2	<i>Simulação de emergência – acionamento SD14 (Room D DR1)</i>	93
4.3.3	<i>Gestão visual</i>	95
4.4	Comentários finais	99
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
	REFERÊNCIAS	102
	APÊNDICE A – PLANO DE EXECUÇÃO BIM DO TEATRO JOSÉ DE ALENCAR	113
	APÊNDICE B – PROTOCOLO BPMN PARA O DESENVOLVIMENTO DO S2FM	124

1 INTRODUÇÃO

O patrimônio edificado constitui um componente estruturante da identidade nacional e da memória coletiva, ao materializar a relação entre passado e presente e configurar-se como legado cultural para as gerações futuras (Vecco, 2010). Contudo, esses ativos permanecem continuamente expostos a processos de degradação decorrentes de agentes ambientais, ações antrópicas, solicitações estruturais e do envelhecimento natural dos materiais, comprometendo, de forma progressiva, sua integridade física e funcional (Adegoriola et al., 2021). Nesse contexto, a adoção de estratégias específicas de conservação torna-se indispensável, sobretudo quando se busca conciliar a preservação da autenticidade patrimonial com as exigências contemporâneas de uso e desempenho.

A ampliação da vida útil de edificações históricas depende diretamente da aplicação sistemática de ações de restauração, conservação e manutenção. Todavia, a ausência, a fragmentação ou a baixa qualidade da documentação técnica dos ativos ainda constituem entraves relevantes, uma vez que dificultam o gerenciamento, elevam custos e ampliam prazos de intervenção. Assim, os métodos digitais de documentação assumem papel estratégico ao possibilitarem a centralização de dados técnicos e geométricos em repositórios estruturados e acessíveis, capazes de subsidiar tanto as ações de restauro quanto as fases de Operação e Manutenção (O&M) (Jang; Collinge, 2020).

A digitalização das condições reais das edificações, por meio de modelos tridimensionais semanticamente enriquecidos, favorece decisões mais consistentes ao longo do ciclo de vida do ativo, ao integrar informações geométricas, estruturais, históricas e funcionais em um ambiente colaborativo de gestão da informação (Jang; Collinge, 2020; Khan et al., 2022). Nesse cenário, a Modelagem da Informação da Construção consolidou-se como abordagem de referência no setor da Arquitetura, Engenharia e Construção, ao permitir a representação integrada das edificações e de seus sistemas ao longo das fases de projeto, construção, operação e manutenção (Wahab; Wang, 2022), com suporte a múltiplas dimensões informacionais e à interoperabilidade entre os agentes envolvidos (Charef; Alaka; Emmitt, 2018; Khan, 2019).

Para além de sua aplicação em novas edificações, a Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modelling* – BIM) apresenta elevado potencial para o gerenciamento de ativos existentes e patrimoniais, sobretudo quando integrado a modelos de planejamento, custos, desempenho e manutenção, e apoiado por abordagens colaborativas

como o *Integrated Project Delivery* – IPD (Goedert; Meadati, 2008). Sua extensão à fase operacional favorece a integração com sistemas de Gestão de Instalações (*Facility Management* – FM), ampliando as possibilidades de gestão estratégica do ambiente construído (Moyano et al., 2022). Entretanto, edificações históricas ainda são majoritariamente geridas por meio de práticas fragmentadas e pouco interoperáveis, baseadas em documentos isolados, o que limita a eficiência dos processos de inspeção, manutenção e reabilitação (Khan et al., 2022).

Nesse contexto, o HBIM surge como uma especialização do BIM voltada à documentação e à gestão digital do patrimônio edificado (Murphy, McGovern e Pavia, 2009). O HBIM integra modelos paramétricos tridimensionais a informações históricas e técnicas, obtidas por escaneamento a laser, fotogrametria e análise documental, viabilizando a reconstituição virtual precisa das edificações (Heesom et al., 2021). Suas aplicações vêm se ampliando em estudos de modelagem de elementos complexos, análises estruturais, avaliação de danos, restauração e preservação (Aricò; Lo Brutto; Maltese, 2023; Brumana et al., 2018; Godinho et al., 2020; Jordan-Palomar et al., 2018; Rubens et al., 2023; Vieira et al., 2024; Yang et al., 2020). Apesar disso, o uso do HBIM voltado diretamente às atividades de operação e manutenção ainda é limitado, sobretudo em razão de lacunas na integração de dados semânticos aos processos de gestão patrimonial.

A Gestão de Instalações é uma disciplina estratégica e multidisciplinar orientada à garantia da funcionalidade, segurança, conforto e eficiência operacional das edificações, por meio da integração entre pessoas, processos e ambiente construído (Atkin e Brooks, 2009; Teicholz, 2001). No âmbito do FM, a manutenção predial desempenha papel central, ao contribuir para a preservação dos ativos, a mitigação de riscos, a redução de custos e a garantia do desempenho funcional (Dzulkifli et al., 2021). Em edificações históricas, tais exigências são ainda mais críticas, uma vez que falhas em componentes e sistemas podem comprometer a autenticidade e o valor cultural do bem (Salzano et al., 2023), demandando estratégias compatíveis com a criticidade dos sistemas, com destaque para a manutenção preventiva planejada (*Planned Preventive Maintenance* – PPM) (Barrett; Baldry, 2003).

Estudos indicam que os custos de operação e manutenção podem superar em até três vezes os custos iniciais de construção (BIM Task Group, 2013). Ainda assim, a fase operacional permanece caracterizada por baixa produtividade, fragmentação informacional e ausência de padronização, comprometendo a gestão técnica dos ativos (Becerik-Gerber et al., 2012). Nesse cenário, a integração entre BIM e plataformas de Gestão de Instalações Assistida por Computador (*Computer-Aided Facility Management* – CAFM) constitui uma alternativa

tecnológica relevante, ao possibilitar o controle do ciclo de vida dos ativos, o acompanhamento de inspeções, a programação de serviços e o monitoramento de desempenho (Barrett; Baldry, 2003; Róka-Madarász; Mályusz; Tuczai, 2016; Teicholz, 1995).

No contexto do HBIM, o uso de modelos “como construído” (*as-built*) orientados à manutenção preventiva permite racionalizar o nível de detalhamento, priorizando os elementos mais relevantes para a gestão operacional (Abideen et al., 2022; McArthur; Bortoluzzi, 2018). A incorporação de dados provenientes de Avaliações de Condição da Edificação (*Building Condition Assessment – BCA*) também contribui para diagnósticos mais precisos e para o planejamento das intervenções (Salzano et al., 2023). Adicionalmente, diretrizes normativas como a (ABNT NBR ISO 19650-1, 2022) orientam a estruturação da informação digital por meio do Modelo de Informação do Projeto (*Project Information Model – PIM*) e do Modelo de Informação do Ativo (*Asset Information Model – AIM*), enquanto a automação de rotinas, com ferramentas como o Dynamo®, e o uso de Ambiente Comum de Dados (*Common Data Environment – CDE*) fortalece a governança e a rastreabilidade da informação (Salzano et al., 2023).

No que se refere especificamente à adoção do BIM para apoiar a FM, a literatura indica a recorrência de desafios e barreiras que podem ser sintetizados em dois grandes grupos: tecnológicos/processuais e organizacionais (Ammari; Hammad, 2014; Becerik-Gerber et al., 2012; Ensafi; Thabet, 2021; Farghaly et al., 2018; Kiviniemi; Codinhoto, 2014; Lavy; Saxena; Dixit, 2019; Liu; Issa, 2013; Pishdad-Bozorgi et al., 2018; Sadeghi; Mehany; Strong, 2018; Terreno; Anumba; Dubler, 2016; Thabet; Lucas, 2017; Yang; Ergan, 2017). De forma simplificada, entre os entraves tecnológicos e de processo destacam-se a implementação pouco efetiva e a utilização limitada de softwares de FM integrados ao BIM, as dificuldades de atualização dos modelos com informações *as-built*, a sobrecarga de dados sem definição clara de requisitos informacionais para O&M, a baixa colaboração entre os diferentes stakeholders, a reduzida participação de fornecedores de software, a postura predominantemente reativa do setor de FM e as incertezas relacionadas à propriedade e aos direitos sobre dados e modelos BIM. No plano organizacional, sobressaem as dificuldades associadas à mudança cultural, a limitação de muitos proprietários em expressar seus requisitos de informação na linguagem do BIM e o acréscimo de custos decorrentes da integração de sistemas, da implantação e da capacitação de equipes (Thabet e Lucas, 2017; Yang e Ergan, 2017). Em decorrência desses fatores, observa-se que uma parcela significativa dos modelos desenvolvidos nas fases de

projeto e construção ainda não é explorada de forma adequada para fins de operação e manutenção, deixando de atender às necessidades informacionais da FM.

Por fim, no campo da segurança contra incêndio, a proteção de edificações consolidou-se como tema prioritário, em razão dos elevados prejuízos materiais e das perdas humanas associadas a incêndios. Sistemas de proteção contra incêndio em edificações (*Building Fire Protection* – BFP) são essenciais para a resposta rápida a emergências, entretanto, em sistemas convencionais, a resposta ainda depende fortemente da ação humana para notificação, localização do foco e organização da evacuação (Wang; Zheng; Ding, 2021). A ausência de alertas tempestivos e de informações qualificadas tende a agravar os impactos do evento (Kassim et al., 2022), como evidenciado no incêndio da Grenfell Tower, em 2017, em Londres, que resultou em 80 mortes e mais de 70 feridos (Arewa et al., 2021; Stec et al., 2019), além de demonstrar como a limitação de informações pode comprometer as operações de evacuação e resgate (Fang; Lo; Lo, 2021).

Nesse contexto, evidencia-se a necessidade de sistemas inteligentes de proteção contra incêndio, capazes de disponibilizar informações qualificadas e de apoiar, de forma automatizada, a definição de estratégias de resposta em situações emergenciais, bem como de modelos BIM semanticamente enriquecidos, estruturados para fornecer informações confiáveis e contextualizadas que subsidiem, de maneira precisa e integrada, as atividades de operação e manutenção das edificações. Diante desse contexto, esta pesquisa busca responder à seguinte questão: como estruturar modelos HBIM orientados à operação que sejam capazes de apoiar, de forma integrada, a gestão da manutenção e a mitigação de riscos em sistemas de proteção contra incêndio em edificações históricas?

1.1 Objetivo

Propor e validar uma metodologia integrada baseada em Modelagem da Informação da Construção Histórica e sistemas de Gestão de Instalações assistida por computador, orientada à estruturação sistêmica da informação, à automação da gestão da manutenção e ao apoio à mitigação de riscos em sistemas de proteção contra incêndio de edificações históricas.

1.1.1 Objetivos específicos

- Desenvolver modelo digital de Sistema de Proteção Contra Incêndio com base em projetos existentes e levantamentos in loco, promovendo a compatibilização e a validação geométrica por meio de nuvem de pontos;

- Elaborar planos de manutenção para os sistemas de proteção contra incêndio, definindo os procedimentos técnicos necessários, a periodicidade recomendada para as intervenções e a identificação dos responsáveis pelas atividades;
- Propor um Sistema de Gerenciamento da Manutenção da Segurança Contra Incêndio (*Fire Safety Maintenance Management System - F2SM*), voltado às instalações de proteção contra incêndio, incorporando processos de automação e planos de manutenção;
- Validar o modelo por meio de uma estrutura de informação orientada a sistemas e laços operacionais, integrada à base de dados relacional, para apoio à análise de interdependências e simulação de cenários de falha em sistemas de proteção contra incêndio.

1.2 Estrutura da dissertação

A presente dissertação é constituída por 5 capítulos, conforme apresentado a seguir:

O Capítulo 1 apresenta a introdução da pesquisa, contextualizando sua relevância, e delimitando o problema investigativo. Além disso, expõe o objetivo geral, os objetivos específicos e a estrutura da dissertação.

O Capítulo 2 apresenta a revisão de literatura que fundamenta teoricamente esta pesquisa, estruturada em torno da gestão e manutenção de sistemas de proteção contra incêndio. O capítulo discute os fundamentos da Gestão de Instalações Assistida por Computador, a aplicação do BIM e do HBIM no suporte às atividades de operação e manutenção, o papel do Plano de Execução BIM (PEB) na organização dos fluxos informacionais e os princípios de gestão da informação ao longo do ciclo de vida dos ativos. Adicionalmente, são abordados os conceitos de estruturação semântica, taxonomia e organização orientada a sistemas, bem como a gestão de sistemas de incêndio e os referenciais normativos aplicáveis.

O Capítulo 3 consiste em um artigo científico que atualmente encontra-se submetido no *Journal Construction and Building Materials*, no qual é apresentado o desenvolvimento de um sistema customizado de gestão da manutenção em segurança contra incêndio (F2SM), integrando BIM e *Facility Management* (FM), aplicado a um teatro histórico tombado no Brasil. O estudo aborda levantamento *in loco*, definição do PEB e integração entre planilhas e Revit® via Dynamo® para automatizar o planejamento e o registro das manutenções, com apoio de filtros gráficos e QR Codes, adotando ainda uma estratégia digital enxuta para reduzir a complexidade do modelo sem comprometer os requisitos informacionais.

O Capítulo 4 também apresenta um artigo científico a ser submetido em revista internacional específica da área, no qual é proposta uma abordagem de estruturação de dados em modelos BIM *as-built* para apoio à gestão de ativos e à mitigação de riscos em sistemas de proteção contra incêndio, aplicada ao Teatro José de Alencar. O estudo adota uma modelagem centrada em sistemas, integrada ao Autodesk Navisworks por meio de base de dados SQL, permitindo a visualização das interdependências funcionais e a simulação de cenários de falha com apoio de *viewpoints* e codificação por cores.

O Capítulo 5 reúne as considerações finais, destacando as principais contribuições da pesquisa, suas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

Além dos capítulos apresentados, esta dissertação é complementada por dois apêndices. O Apêndice A descreve a aplicação do PEB na elaboração do modelo F2SM do Teatro José de Alencar, explicitando as diretrizes técnicas adotadas para a construção do modelo. O Apêndice B apresenta, na íntegra, o Protocolo BPMN, detalhando as seis etapas metodológicas que o estruturam e orientam o seu processo de aplicação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Gestão e manutenção da proteção contra incêndio: estruturas e melhores práticas

As instalações de proteção contra incêndio constituem um componente crítico da manutenção de edificações, especialmente naquelas de valor histórico e cultural (Lam; Jones, 2025). Garantir a operacionalidade das redes de hidrantes, dos extintores de incêndio e dos sistemas de alarme exige não apenas a conformidade com códigos prescritivos de segurança, mas também o estabelecimento de rotinas sistemáticas de manutenção, apoiadas por uma gestão precisa e estruturada das informações (Dauda et al., 2025). Sob essa perspectiva, o BIM pode atuar como uma plataforma central para a integração de requisitos normativos, dados de inspeção e fluxos de trabalho de manutenção (Bae; Cha; Jiang, 2025). Nesse contexto, um dos principais desafios reside no desenvolvimento de sistemas de proteção contra incêndio que incorporem as melhores práticas estabelecidas em códigos e normas internacionais, ao mesmo tempo em que assegurem compatibilidade técnica, mínima interferência física e visual, e plena conformidade com os princípios de conservação que regem o patrimônio edificado histórico.

2.1.1 Normas para inspeção e manutenção

A *National Fire Protection Association* (NFPA) fornece um dos frameworks mais abrangentes para a inspeção, os testes e a manutenção de sistemas de proteção contra incêndio. A NFPA 25:2026 – *Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems* (NFPA 25, 2026) define uma abordagem estruturada e periódica para a manutenção de sistemas como sprinklers, hidrantes, válvulas e bombas de incêndio. Essa norma estabelece intervalos de inspeção (mensais, trimestrais e anuais) e exige a manutenção de registros detalhados, de modo a assegurar a rastreabilidade e a confiabilidade dos sistemas ao longo do tempo.

Particularmente relevante para o patrimônio edificado, a NFPA 914:2023 – *Code for Fire Protection of Historic Structures* (NFPA 914, 2023) enfatiza intervenções reversíveis e minimamente invasivas, o uso de sistemas de detecção de baixo impacto e a integração do planejamento da manutenção a frameworks mais amplos de gestão da conservação. Esse código reconhece que soluções prescritivas tradicionais podem não ser viáveis em edificações tombadas e recomenda uma abordagem baseada em desempenho, a fim de equilibrar segurança e preservação (Vijay; Gadde, 2021). Ademais, para ampliar sua eficácia e assegurar a proteção adequada dos bens patrimoniais, o projeto e a implementação bem-sucedidos de sistemas de

proteção contra incêndio requerem colaboração coordenada entre arquitetos, engenheiros, autoridades de combate a incêndio, especialistas em conservação e artesãos qualificados.

No Reino Unido, a BS 9999:2017 – *Code of Practice for Fire Safety in the Design, Management and Use of Buildings* (BS 9999, 2017) adota uma metodologia baseada em risco, integrando projeto, operação e manutenção em uma estratégia unificada de segurança contra incêndio. Em vez de prescrever intervalos fixos, essa norma britânica define rotinas de manutenção com base no nível de risco avaliado, na ocupação dos usuários e no tipo de sistema. A norma também incentiva o registro das atividades de manutenção como parte dos registros de *facility management* da edificação, em consonância com estratégias de gestão digital de ativos. Complementarmente, a BS 7913:2013 – *Guide to the Conservation of Historic Buildings* reforça a necessidade de compatibilidade entre os sistemas de proteção contra incêndio e os valores patrimoniais, orientando o projeto e a manutenção de intervenções reversíveis e visualmente discretas (BS 7913, 2013). Cabe destacar que as avaliações de risco de incêndio em edificações históricas, além de considerarem os riscos à vida humana, devem igualmente identificar os riscos à estrutura histórica e aos bens móveis, sendo que o grau de intervenção deve ser proporcional ao nível de risco identificado (Kincaid, 2018). Essa abordagem assegura que as intervenções se limitem ao estritamente necessário, minimizando impactos físicos e visuais e reduzindo o risco de perda de valor cultural.

Em outros países, como Austrália e Nova Zelândia, a AS 1851:2012 – *Routine Service of Fire Protection Systems and Equipment* (AS 1851, 2012) desempenha função semelhante à da NFPA 25:2026 (NFPA 25, 2026). Essa norma prescreve cronogramas de manutenção rotineira e enfatiza a documentação e a rastreabilidade como componentes centrais da gestão dos sistemas de proteção contra incêndio. As normas discutidas reconhecem a importância da proteção do patrimônio; entretanto, nem sempre definem medidas específicas adaptadas às edificações históricas, como observado no contexto do Reino Unido. Para além dessas normas, documentos complementares podem apoiar a caracterização de medidas de segurança contra incêndio compatíveis com o patrimônio, frequentemente desenvolvidos por meio de parcerias entre órgãos governamentais de conservação e autoridades de proteção contra incêndio. No Canadá, por exemplo, o *Canadian Conservation Institute* (CCI) disponibiliza um conjunto abrangente de notas de conservação voltadas aos riscos de incêndio para o patrimônio cultural, nas quais se destaca que “o cuidado, o manuseio e o armazenamento de bens culturais requerem uma avaliação específica do contexto, de modo a equilibrar preservação e uso” (Government of Canada, 2025).

No contexto europeu mais amplo, a série de normas EN 12845:2009 estabelece os requisitos de projeto e manutenção de sistemas automáticos de sprinklers, enquanto as normas EN 671:2012 e EN 54:2017 regulamentam, respectivamente, os sistemas de mangueiras e os componentes de detecção e alarme de incêndio (EN 54, 2017; EN 671, 2012; EN 12845, 2009). Essas normas, adotadas em nível da União Europeia, apoiam a padronização das frequências de inspeção e dos procedimentos de documentação, promovendo a comparabilidade e a interoperabilidade entre os Estados-membros. Em escala global, as normas ISO 7240:2017 (sistemas de detecção e alarme de incêndio) e ISO 21927:2008 (sistemas de controle de fumaça e calor) contribuem para o alinhamento internacional de critérios de desempenho e procedimentos de ensaio (ISO 7240, 2017; ISO 21927, 2008).

2.1.2 Normas para inspeção e manutenção: padrões brasileiros e adaptação local

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece o principal arcabouço normativo para os sistemas de segurança contra incêndio por meio de normas como a NBR 13714:2000 (sistemas de hidrantes e mangotinhos), a NBR 12693:2021 (extintores de incêndio), a NBR 17240:2010 (sistemas de detecção e alarme de incêndio) e a NBR 10897:2020 (sistemas de *sprinklers* automáticos) (ABNT NBR 10897, 2020; ABNT NBR 12693, 2021; ABNT NBR 13714, 2000; ABNT NBR 17240, 2010). Esses documentos definem os requisitos de projeto, instalação e inspeção, porém não abordam explicitamente as especificidades das edificações históricas. Mais recentemente, manutenção de sistemas de proteção contra incêndio avançou no sentido de uma abordagem mais integrada, ao destacar a necessidade de procedimentos de manutenção planejados, documentados e rastreáveis.

Diante desse cenário normativo, as edificações patrimoniais demandam uma estratégia de gestão que vá além do simples atendimento às exigências regulamentares. Tal estratégia requer a adaptação de princípios modernos de segurança contra incêndio, como aqueles estabelecidos na NFPA 914:2023 e na BS 7913:2013 (BS 7913, 2013; NFPA 914, 2023), às restrições impostas pela preservação histórica, pela integridade dos materiais e pela autenticidade arquitetônica. Nesse contexto, os sistemas digitais de gestão podem desempenhar um papel fundamental ao facilitar a documentação e assegurar que as operações de manutenção permaneçam alinhadas às diretrizes de conservação do patrimônio.

2.2 Gestão e integração digital para manutenção preventiva

A gestão eficaz da manutenção dos sistemas de proteção contra incêndio depende da coleta contínua, verificação e análise de dados operacionais. Os métodos manuais

tradicionais frequentemente resultam em registros fragmentados e em limitada rastreabilidade das informações. A integração do BIM com sistemas de *Computer-Aided Facility Management* (CAFM) possibilita uma representação dinâmica e visual dos componentes de proteção contra incêndio, como hidrantes, extintores e dispositivos de alarme, vinculando cada elemento ao seu cronograma de inspeção, histórico de manutenção e documentação técnica correspondente.

Esse tipo de sistema integrado está fortemente alinhado aos princípios estabelecidos pelas normas NFPA 25:2026, BS 9999:2017 e AS 1851:2012, que enfatizam a regularidade das inspeções, a precisão da documentação e a rastreabilidade das ações (AS 1851, 2012; BS 9999, 2017; NFPA 25, 2026). No entanto, a incorporação do BIM acrescenta uma nova dimensão de continuidade da informação, ao assegurar que os dados gerados durante as inspeções contribuam diretamente para os processos de tomada de decisão e para o monitoramento do desempenho dos sistemas. Em contextos patrimoniais, essa integração digital também favorece o planejamento de manutenções não invasivas, uma vez que todas as intervenções podem ser previamente avaliadas no modelo, minimizando impactos físicos e visuais sobre estruturas protegidas.

2.3 Estrutura de manutenção compatível com o patrimônio

Para edificações históricas, a integração da gestão da segurança contra incêndio em um ambiente digital representa uma oportunidade de conciliar os requisitos técnicos de segurança com os objetivos de preservação cultural. Ao adotar rotinas de inspeção e manutenção alinhadas à NFPA 25:2026 e à BS 9999:2017, com referência à NFPA 914:2023 e à BS 7913:2013 no que se refere à compatibilidade com o patrimônio, os gestores de instalações podem assegurar a confiabilidade dos sistemas sem comprometer a integridade arquitetônica (BS 7913, 2013; BS 9999, 2017; NFPA 25, 2026; NFPA 914, 2023).

O framework resultante incentiva:

- O registro de todas as intervenções de manutenção diretamente no modelo BIM, preservando um histórico digital da operação da edificação;
- O uso de tecnologias minimamente invasivas, como detectores sem fio e sistemas de tubulação modular;
- O planejamento de ciclos de manutenção preventiva apoiado por ferramentas de visualização de dados e avaliação de riscos;

- A capacitação das equipes de manutenção para operar por meio de interfaces digitais intuitivas, reduzindo a dependência de conhecimentos avançados em BIM.

Por fim, a integração de boas práticas internacionais, da conformidade com a regulamentação brasileira e de ferramentas digitais de Gestão de Instalações estabelece uma estratégia de manutenção preventiva e adaptativa adequada a edificações históricas. Essa abordagem assegura que os sistemas de proteção contra incêndio permaneçam simultaneamente confiáveis do ponto de vista operacional e respeitosos em relação aos valores culturais, reforçando o papel da transformação digital na gestão sustentável do patrimônio arquitetônico.

2.4 Gestão de instalações assistida por computador

Um dos maiores desafios na gestão de instalações consiste em acessar, de forma oportuna, as informações adequadas para subsidiar as decisões relacionadas à gestão de ativos e às estratégias de manutenção. Em geral, esse processo envolve a identificação do conjunto de alternativas que melhor apoiam as atividades-fim da organização (Ababneh, 2023) e, para uma otimização eficaz, requer a modelagem baseada em critérios-chave, tais como qualidade, confiabilidade, custo e cronograma, ajustados ao contexto operacional da organização.

O auxílio computacional nesse cenário tem despertado interesse crescente tanto na pesquisa acadêmica quanto na prática organizacional (Róka-Madarász; Mályusz; Tuczai, 2016), uma vez que a complexidade aumenta significativamente em função do volume de informações geradas pelos sistemas prediais e de suas interações com usuários (Abideen *et al.*, 2022). Conforme destacado por Abideen *et al.*, (2022), a capacidade de gerenciar informações de forma eficaz constitui um fator crítico para o sucesso da Gestão de Instalações, sendo essencial que a equipe gestora tenha acesso a dados compreensíveis e confiáveis para apoiar a tomada de decisão durante as fases de operação e manutenção das edificações (Love *et al.*, 2015).

Diante disso, o suporte computacional torna-se imperativo. Diversas soluções e tecnologias têm sido propostas por pesquisadores, abrangendo desde o desenvolvimento de softwares até a concepção de sistemas interativos voltados ao apoio dos processos de controle e gestão da informação. Entre os exemplos mais relevantes destacam-se os sistemas de *Computer-Aided Facility Management (CAFM)* (Kassem *et al.*, 2015; Matarneh *et al.*, 2019a), os *Computerized Maintenance Management Systems (CMMS)* (Palha; Hüttl; Da Costa e Silva, 2024), os *Systems Information Models (SIM)* (Love *et al.*, 2015) e o BIM (Becerik-Gerber *et al.*, 2012).

Embora as organizações possam reter informações provenientes da fase *as-built*, esses dados, em geral, permanecem limitados a documentos físicos, como plantas, manuais, contratos e registros de ordens de serviço (Love et al., 2015). A gestão da informação envolve a identificação dos dados existentes e potenciais, bem como a garantia de sua adequada organização, acessibilidade, visualização e hierarquização. Nesse contexto, quando as informações não são organizadas de forma precisa, rastreável e facilmente acessível, não apenas os serviços que delas dependem são afetados, como também o próprio sistema é comprometido, em virtude da redução da precisão e da confiabilidade dos dados (Teicholz, 2001a).

Adicionalmente, é desejável que todas as informações estejam centralizadas, assegurando a inexistência de duplicidades, aumentando a agilidade na análise e na tomada de decisão e evitando falhas de comunicação (Love et al., 2015). O BIM pode fornecer acesso digital às informações sobre os componentes e equipamentos da edificação por meio de uma fonte única, reduzindo o tempo e os custos associados à gestão de grandes volumes de dados fragmentados e não estruturados, ao mesmo tempo em que aprimora a precisão das informações relacionadas aos sistemas prediais (Kassem et al., 2015).

2.5 Modelagem da Informação da Construção e manutenção de instalações

Ao possibilitar representações digitais ricas em dados, o BIM configura-se como uma ferramenta poderosa para a gestão, atualização e compartilhamento de informações das edificações ao longo de todo o seu ciclo de vida (Eastman Chuck et al., 2014). Enquanto o FM se refere à função organizacional responsável por coordenar pessoas, espaços e processos operacionais, seu objetivo central é garantir o funcionamento eficaz dos ativos físicos da edificação (ABNT NBR ISO 41001, 2020). A convergência entre essas disciplinas tem emergido como uma estratégia promissora para a racionalização de custos, o aumento da eficiência operacional e o fortalecimento da transparência na gestão da manutenção (Dzulkifli et al., 2021).

Considerando que volumes significativos de recursos financeiros são destinados à manutenção das operações das instalações, evidencia-se o potencial do BIM para promover mudanças substanciais por meio da otimização de recursos e da redução de desperdícios (Olapade; Ekemode, 2018). Enquanto tecnologia, o BIM oferece suporte ao planejamento da manutenção preventiva, à detecção proativa de interferências entre sistemas e ao monitoramento contínuo da eficiência energética (Gerrish et al., 2017), em substituição a práticas reativas e pouco eficientes que ainda predominam no setor (Liu; Issa, 2013).

Para além de suas representações tridimensionais, os modelos BIM incorporam atributos de dados abrangentes para os elementos construtivos, incluindo documentação técnica, especificações, garantias e históricos de manutenção (Becerik-Gerber et al., 2012). Como um ambiente de dados centralizado, o BIM facilita a tomada de decisão e possibilita intervenções mais ágeis e precisas. A aplicação dessa abordagem na Ópera de Sydney, por exemplo, demonstrou melhorias significativas na gestão de ativos, no monitoramento ambiental e na projeção dos custos de manutenção ao longo do ciclo de vida da edificação (Kivits; Furneaux, 2013).

Paralelamente à produção acadêmica e aos estudos de caso, as normas existentes desempenham papel relevante na disseminação e na implementação adequada do BIM. ABNT NBR ISO 19650-1: (2022), contribui para a padronização da gestão da informação na construção ao propor um modelo hierárquico de requisitos de informação. Essa norma estabelece uma estrutura progressiva que abrange desde os Requisitos da Informação da Organização (OIR) até os Requisitos da Informação do Projeto (PIR) e os Requisitos da Informação dos Ativos (AIR), promovendo uma abordagem de gestão alinhada às diferentes fases do ciclo de vida da edificação. Ainda assim, apesar dos avanços teóricos e experimentais significativos, a adoção ampla do BIM no FM continua a enfrentar desafios. Entre as principais barreiras destacam-se os elevados custos iniciais de implementação, a ausência de marcos legais claramente definidos, a limitada conscientização por parte dos gestores de instalações e a resistência cultural à mudança tecnológica (Matarneh; Hamed, 2017; Migilinskas et al., 2013; Naghshbandi, 2016).

2.6 Plano de Execução BIM

A adoção eficaz do BIM depende de um planejamento estruturado e de diretrizes claras que assegurem a coordenação entre todos os agentes envolvidos no projeto. Embora seja amplamente reconhecido por promover maior transparência, colaboração e eficiência ao longo do ciclo de vida da edificação, a literatura aponta de forma recorrente a ausência de padronização na elaboração dos Planos de Execução BIM (PEBs) como um dos principais desafios, considerando o papel fundamental desses documentos na organização dos fluxos de trabalho e na gestão da complexidade dos projetos (Faraji et al., 2024).

Estudos recentes indicam que a inexistência de estruturas consolidadas pode dificultar a implementação do BIM. Nesse sentido, (Abdelalim et al., 2024) aborda essa lacuna ao propor um modelo desenvolvido a partir da análise de 36 PEBs internacionais, incorporando elementos-chave como a estrutura de gestão, a definição de papéis e responsabilidades, a

infraestrutura tecnológica e os mecanismos de controle da qualidade. Os autores destacam que a clareza quanto aos objetivos, às responsabilidades e aos procedimentos colaborativos é essencial para a aplicação eficaz das tecnologias BIM.

O papel do BIM na promoção da coordenação interdisciplinar e na mitigação de conflitos, especialmente em projetos complexos que envolvem múltiplos envolvidos é relevante. A adoção do BIM tem demonstrado potencial para reduzir retrabalhos e inconsistências de informação; contudo, barreiras culturais e organizacionais ainda dificultam sua plena integração aos modelos tradicionais de gestão de projetos. Nesse contexto, a formalização do PEB como um documento contratual assume papel estratégico, ao esclarecer responsabilidades, definir entregáveis e estabelecer protocolos de interoperabilidade, fortalecendo a mitigação de riscos e aprimorando a previsibilidade dos resultados dos projetos (Abdelalim et al., 2024; Faraji et al., 2024; Khedr; Abdelalim, 2021; Olbina; Elliott, 2019).

Essa ênfase em estruturas e processos claramente definidos também se reflete em países com políticas de BIM mais maduras, como Estados Unidos, Reino Unido e Singapura, nos quais avanços significativos foram alcançados por meio de mandatos oficiais e da padronização regulatória (Edirisinghe; London, 2015; Jiang et al., 2022; Lea et al., 2015; Lee; Yu, 2016; Liao et al., 2021). Nesse cenário, o desenvolvimento do primeiro PEB pela Universidade da Pensilvânia (*Penn State University*), em 2010, representa um marco relevante, ao sistematizar o uso do BIM, os fluxos de informação, os requisitos tecnológicos e os procedimentos de controle da qualidade (Abdelalim et al., 2024). O impacto global desse documento influenciou diretamente diretrizes posteriores, incluindo a ISO 19650:2018 (Ashworth; Dillinger; Körkemeyer, 2023).

No contexto brasileiro, a publicação da ABNT NBR ISO 19650-2, (2022), representa um avanço significativo na padronização da gestão da informação na indústria da construção nacional. Adaptada da norma internacional ISO 19650, essa norma introduz uma estrutura hierárquica de requisitos de informação (OIR, PIR e AIR), dando suporte a uma gestão progressiva da informação alinhada às diferentes fases do ciclo de vida das edificações.

2.7 Gestão de informações de edifícios

O uso de modelos informatizados de edificações tem o potencial de apoiar o acesso rápido a dados relevantes durante emergências (Schönfelder et al., 2024). A riqueza semântica dos elementos e o fluxo das informações entre os interessados do projeto são variáveis que caracterizam a maturidade da aplicação (Succar, 2009). Estes fluxos devem ser pensados e projetados, pois são suas propriedades que definirão as características das bases de dados e das

plataformas de acesso, alimentação e troca. Desta forma, a definição dos contêineres e a linguagem adotada são etapas cruciais para o gerenciamento da informação e dos projetos. Algumas abordagens incluem o *Information Container for Linked Document Delivery* (ICDD) (ABNT NBR ISO 19650-1, 2022; Hagedorn et al., 2022) e sua integração em um *Common Data Environment* (CDE) (DIN SPEC 91391-2, 2019; Karlapudi; Prathap; Menzel, 2021), integrando linguagens como SPARQL ou SQL na gestão da informação dos ativos (Kim et al., 2024) e direcionando na escolha de plataformas compatíveis.

Para que o potencial desses modelos informatizados seja aproveitado, as informações incorporadas devem estar adequadamente estruturadas, minimizando erros de interpretação e reduzindo o tempo de resposta durante operações críticas. Uma das etapas fundamentais na construção de uma estrutura de dados é a definição ontológica, que estabelece a significação dos termos utilizados para rotular as informações de cada elemento. O agrupamento desses elementos constitui uma tarefa essencial tanto para a ontologia quanto para a simplificação, visto que a criação de sistemas e subsistemas estabelece significados baseados em suas inter-relações e organiza a complexidade em agrupamentos reduzidos, facilitando a compreensão (Succar, 2009). Esse processo pode ser definido como taxonomia, que é o esquema onde a descrição dos termos e sua relação em um contexto de área de conhecimento é identificada. Desenvolver uma taxonomia dos objetos pode fornecer uma terminologia comum que facilita o compartilhamento de conhecimento, ajuda a identificar lacunas de conhecimento na área e apoia a tomada de decisão (Usman et al., 2017).

A estruturação de dados desempenha um papel fundamental para garantir que os modelos de informação da edificação permaneçam acessíveis e compreensíveis para as equipes de gestão de ativos (Ensafi; Harode; Thabet, 2022). Edificações modernas frequentemente incorporam sistemas altamente complexos e interconectados, incluindo sistemas mecânicos, elétricos, de segurança e de automação. Em tais ambientes, é comum que equipes especializadas sejam responsáveis pela operação e manutenção de sistemas individuais. Em razão da diversidade de disciplinas envolvidas, a organização das informações pode exigir estruturas semânticas distintas, adaptadas a cada especialidade. Por exemplo, Bae; Cha; Jiang, (2025) propõem a associação de informações chave aos elementos do sistema de combate a incêndio modelados no formato *Industry Foundation Class* (IFC). O objetivo é integrar informações relevantes para a gestão dos ativos deste sistema, incluindo a responsabilização das ações de manutenção. Neste sentido, (Wong; Lee, 2022) propõem a inserção de informações relacionadas ao uso da edificação durante emergências de incêndio. Dados como classificação

de perigo de áreas e rotas de fuga são associados ao modelo, facilitando a tomada de decisão em emergências e direcionando para ações com menores riscos na evacuação dos usuários.

Apesar da necessidade de uma organização de informações específica por sistema, é essencial que os elementos da edificação mantenham uma identificação única dentro dos modelos digitais (Eastman Chuck et al., 2014). A identificação única apoia a consistência dos dados, a interoperabilidade e a rastreabilidade ao longo do ciclo de vida da edificação, permitindo abordagens que integram fluxo atualizável de informações em plataformas baseadas na web (Byun et al., 2021; Hagedorn et al., 2023) ou base de dados relacional (Bae; Cha; Jiang, 2025). Na ciência de dados, a alocação e a organização da informação sob essas restrições são amplamente consolidadas. A *Structured Query Language* (SQL) tem sido amplamente adotada como ferramenta padrão para a criação, o gerenciamento e a consulta de bancos de dados relacionais, fornecendo mecanismos lógicos e estruturados para o armazenamento de conjuntos de dados complexos e inter-relacionados (Silberschatz; Korth; Sudarshan, 2020).

A integração de bancos de dados relacionais com elementos digitais da edificação tornou-se cada vez mais viável em função dos avanços na tecnologia BIM. Essa integração possibilita o gerenciamento de extensos metadados associados aos ativos físicos, facilitando a organização hierárquica, o mapeamento de dependências e o acompanhamento do ciclo de vida (Hagedorn et al., 2023; Wong; Lee, 2022). Como consequência, os modelos BIM estão gradualmente deixando de ser representações puramente geométricas para se tornarem repositórios abrangentes de informações, capazes de apoiar processos de tomada de decisão ao longo da fase operacional das edificações.

Embora o conceito de BIM como repositório de informações ao longo do ciclo de vida esteja presente desde seus estágios iniciais de desenvolvimento (Eastman Chuck et al., 2014), apenas nos últimos anos a pesquisa tem se concentrado de forma mais intensa na exploração de seu potencial para aplicações operacionais e de manutenção. Essa mudança reflete o reconhecimento crescente de que ambientes de informação estruturados e interoperáveis são essenciais para aprimorar o desempenho da gestão de ativos, a confiabilidade operacional e a eficiência da resposta a emergências (Ensafí; Harode; Thabet, 2022; Kim et al., 2024).

2.8 Gestão de sistemas de incêndio

A literatura em *Facility Management* (FM) indica que os sistemas de Gestão de Instalações (*Facility Management Systems* – FMS) vêm sendo desenvolvidos para apoiar de forma integrada as atividades de ordens de serviço, controle de materiais, processos de

aquisição e gestão de ativos (Lin; Su; Chen, 2014). Esses serviços dependem da integração de diferentes sistemas de informação, incluindo dados de equipamentos, alarmes operacionais e recursos para acompanhamento das instalações e de seus cronogramas de operação (Chen; Chen; Cox, 2012). Nesse cenário, a incorporação de abordagens automatizadas e inteligentes tem ampliado o papel da Modelagem da Informação da Construção como infraestrutura informacional para armazenamento, organização e atualização de dados operacionais, favorecendo a execução das atividades de operação e manutenção (Wang et al., 2025). Diversos estudos demonstram sua aplicação direta no gerenciamento de equipamentos de segurança (Wetzel; Thabet, 2015), na estruturação de dados de instalações prediais (Pishdad-Bozorgi et al., 2018) e na melhoria da qualidade dos processos de gestão (El Ammari; Hammad, 2019; Valinejadshoubi; Moselhi; Bagchi, 2022).

A gestão de equipamentos de segurança contra incêndio (*Fire Safety Equipment – FSE*) caracteriza-se por longos ciclos de vida e elevados custos, o que frequentemente resulta em deficiências nas práticas de inspeção e manutenção em campo (Liu; Zhang; Zhu, 2012). A ausência de inspeções regulares favorece a degradação e o mau funcionamento dos equipamentos, aumentando o risco de ocorrência de incêndios, enquanto configurações e layouts inadequados podem comprometer a eficiência da evacuação de pessoas (Shafiq et al., 2022). Observa-se, ainda, uma discrepância recorrente entre os dados registrados nas plataformas de gestão e as condições reais dos equipamentos instalados, decorrente da falta de mecanismos eficazes para atualização contínua do seu estado operacional. Nesse sentido, a proposição de estruturas automatizadas para verificação da condição dos equipamentos apresenta elevado potencial para aumentar a eficiência e a confiabilidade da gestão de sistemas de segurança contra incêndio, contribuindo diretamente para a mitigação de riscos e para o fortalecimento do papel dos FSE na proteção das edificações (Lin et al., 2025).

Como os FSE encontram-se distribuídos em toda a edificação, a gestão da manutenção depende da correta identificação de cada equipamento individual e da determinação precisa de sua posição no espaço, assegurando a unicidade das instâncias e a consistência espacial dos ativos. Para esse fim, têm sido empregadas tecnologias de rastreamento e posicionamento, como GPS (Ergen; Akinci; Sacks, 2007; Oh et al., 2004), RFID (Chae; Yoshida, 2010; Elghamrawy; Boukamp, 2010), UWB (Teizer; Venugopal; Walia, 2008) e 3D LiDAR (Wang et al., 2022, 2024). Embora amplamente utilizadas, essas soluções normalmente requerem a instalação de dispositivos físicos adicionais, o que implica custos elevados, sobretudo em cenários com grande número de equipamentos monitorados (Brilakis;

Park; Jog, 2011). Nesse sentido, a utilização de modelos BIM, frequentemente derivados de levantamentos por nuvem de pontos, constitui uma alternativa para representar com maior fidelidade o ambiente construído e estabelecer a ligação direta entre os elementos físicos e seus respectivos dados técnicos, criando uma base mais consistente para o atendimento às demandas de projeto e para a gestão da manutenção.

A segurança contra incêndio constitui um componente central da gestão predial, envolvendo medidas voltadas à prevenção, ao controle de incêndios, à proteção da vida humana e à redução de danos patrimoniais, sendo regulamentada por códigos e normas que estabelecem exigências de projeto, construção e operação das edificações, como rotas de fuga, medidas estruturais e sistemas de proteção ativa e passiva. Tais exigências devem ser observadas ao longo de todo o ciclo de vida do edifício, especialmente na fase de operação e manutenção, na qual as inspeções periódicas representam uma obrigação legal e um mecanismo essencial de mitigação de riscos (ABNT NBR 10897, 2020; ABNT NBR 13714, 2000; ABNT NBR 17240, 2010; AS 1851, 2012; BS 9999, 2017; EN 54, 2017; EN 671, 2012; EN 12845, 2009; NFPA 25, 2026; NFPA 914, 2023).

Nesse contexto, modelos BIM enriquecidos com informações de FSE contribuem para a melhoria da eficiência e da efetividade das inspeções, ao fornecerem inventários estruturados dos equipamentos, auxiliarem a navegação até os componentes a serem avaliados e permitirem a atualização sistemática das informações associadas aos ativos (Aziz et al., 2023; Halder; Afsari, 2023; Hu; Gan; Yin, 2023; Kim et al., 2022). De forma complementar, os gêmeos digitais ampliam essas capacidades ao possibilitarem a representação em tempo real das condições dos sistemas físicos, distinguindo-se dos modelos BIM tradicionais e viabilizando processos dinâmicos de tomada de decisão e otimização operacional (Opoku et al., 2021; Tuhaise; Tah; Abanda, 2023). Estudos recentes destacam o potencial dos gêmeos digitais na gestão do ciclo de vida de edificações e na gestão de desastres (Cheng; Hou; Xu, 2023), especialmente no contexto da segurança contra incêndio, apoiando a detecção de eventos, a identificação de anomalias e a integração entre dados geométricos estáticos e dados dinâmicos de sensores.

Em síntese, a literatura indica que a integração entre BIM, gêmeos digitais e tecnologias de posicionamento constitui uma base tecnológica para a gestão da manutenção de sistemas de segurança contra incêndio, favorecendo a identificação precisa dos ativos, a atualização contínua de seu estado, a rapidez na resposta, a prevenção de falhas e o registro

estruturado de dados, configurando estratégias fundamentais para a mitigação de riscos ao longo do ciclo de vida das edificações.

3 UMA ESTRUTURA INTEROPERÁVEL EM BIM PARA A GESTÃO AUTOMATIZADA DA MANUTENÇÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM BENS PATRIMONIAIS

3.1 Introdução

A Gestão de Instalações desempenha um papel central na eficiência, funcionalidade e sustentabilidade das edificações ao longo de todo o seu ciclo de vida, ao integrar sistematicamente processos, pessoas e o ambiente construído, de modo a apoiar as atividades-fim das organizações (Atkin; Brooks, 2009; Teicholz, 2001b). Nesse contexto, a manutenção predial constitui uma das funções mais críticas do FM, pois é responsável por assegurar o desempenho adequado dos sistemas, a segurança dos usuários e a durabilidade dos ativos construídos (Dzulkifli et al., 2021). Esse papel torna-se ainda mais sensível em edificações de valor histórico e cultural, nas quais falhas de componentes podem não apenas gerar perdas operacionais, mas também comprometer a integridade dos bens patrimoniais (Prieto et al., 2019).

As estratégias de manutenção variam desde ações corretivas, realizadas após a ocorrência de falhas, até abordagens preventivas, como a Manutenção Preventiva Planejada (MPP), baseada em inspeções e intervenções regulares e preditivas, apoiadas por monitoramento contínuo (Barrett; Baldry, 2003). A escolha do método de manutenção impacta diretamente os custos operacionais e a confiabilidade dos sistemas. Essa discussão está alinhada a normas técnicas amplamente reconhecidas, como a NFPA 25:2026, a BS 9999:2017 e a AS 1851:2012 (AS 1851, 2012; BS 9999, 2017; NFPA 25, 2026), que enfatizam a periodicidade das inspeções, a precisão da documentação e a rastreabilidade das ações. Em contextos patrimoniais, documentos como a NFPA 914:2023 (NFPA 914, 2023) e a BS 7913:2013 (BS 7913, 2013) reforçam a necessidade de estratégias de manutenção que conciliem segurança e preservação, por meio de intervenções reversíveis, minimamente invasivas e historicamente compatíveis.

O desafio da manutenção é ainda intensificado pelo fato de que a fase de operação pode representar até três vezes os custos da etapa de construção, configurando-se como a fase mais onerosa ao longo do ciclo de vida de uma edificação. Nessa etapa, as atividades de operação e manutenção (O&M), especialmente a manutenção, correspondem a uma parcela significativa dos custos totais do ciclo de vida (BIM Task Group, 2013). Além disso, a indústria da construção enfrenta limitações históricas de produtividade, que se tornam particularmente críticas na fase operacional em razão da fragmentação das informações, do acesso restrito a

dados técnicos, da ausência de monitoramento contínuo e da baixa rastreabilidade das intervenções realizadas (Becerik-Gerber et al., 2012). Esses fatores comprometem a qualidade da tomada de decisão gerencial e reduzem a eficiência dos processos de manutenção.

Nesse cenário, as tecnologias digitais emergem como elementos transformadores. O BIM consolidou-se como uma ferramenta estratégica para o FM ao possibilitar a criação de representações digitais precisas das edificações e de seus componentes, incorporando atributos físicos, funcionais e históricos. Essa capacidade é particularmente relevante para edificações existentes, especialmente as históricas, pois permite a modelagem *as-built* orientada a objetivos específicos, como a manutenção preventiva, concentrando esforços nas informações essenciais ao processo de gestão (Abideen et al., 2022; McArthur; Bortoluzzi, 2018).

Quando integrado a sistemas de Gestão de Instalações Assistida por Computador (CAFM), o BIM potencializa a gestão da manutenção ao viabilizar a vinculação estruturada e visual de dados técnicos, cronogramas de inspeção, históricos de intervenções, documentação normativa e informações do ciclo de vida dos componentes (Barrett; Baldry, 2003; Róka-Madarász; Mályusz; Tuczai, 2016; Teicholz, 1995). Essa integração está diretamente alinhada aos princípios estabelecidos por normas internacionais como a NFPA 25:2026, a BS 9999:2017 e a AS 1851:2012 (AS 1851, 2012; BS 9999, 2017; NFPA 25, 2026), que destacam a importância de rotinas periódicas, registros detalhados e elevada rastreabilidade. Em edificações históricas, a adoção de ambientes digitais integrados também possibilita a simulação, avaliação e o planejamento prévio das intervenções diretamente no modelo BIM, favorecendo soluções não invasivas e compatíveis com as diretrizes de conservação do patrimônio.

Em resposta a esses desafios, este estudo apresenta uma metodologia para o desenvolvimento de um sistema CAFM customizado, integrado a modelos BIM, destinado à gestão da manutenção do Sistema de Segurança Contra Incêndio em um teatro histórico tombado. O objetivo é demonstrar como uma abordagem digital estruturada pode contribuir simultaneamente para a conservação do patrimônio cultural e para o aumento da eficiência operacional das instalações. Ao articular princípios normativos internacionais, diretrizes brasileiras e tecnologias da informação, o método proposto busca apoiar processos decisórios mais confiáveis e rastreáveis ao longo do tempo, especialmente em edificações históricas, nas quais a precisão documental e o controle das intervenções são essenciais para a preservação do valor cultural. Dessa forma, este trabalho introduz uma abordagem inovadora ao integrar rotinas automatizadas de manutenção, modelagem BIM e interoperabilidade com ferramentas

amplamente utilizadas de gestão de ativos no contexto patrimonial. Essa integração supre uma lacuna existente na literatura relacionada ao avanço de ferramentas de manutenção, que frequentemente demandam flexibilidade e acessibilidade para usuários não especialistas.

A estrutura interoperável proposta, baseada em BIM, para a gestão automatizada da manutenção da segurança contra incêndio em bens patrimoniais, destaca-se por automatizar os fluxos de dados entre o ambiente BIM e os sistemas de manutenção por meio do uso do Dynamo e de plugins como o DiRoots.OneParaManager. Essa solução reduz drasticamente a necessidade de conhecimento avançado em BIM, tornando o sistema mais acessível.

3.2 Metodologia

Este estudo propõe um modelo de Sistema de Gestão da Manutenção da Segurança Contra Incêndio (*Fire Safety Maintenance Management System - F2SM*) para o Teatro José de Alencar (Figura 1), edificação inaugurada em 1910, com área construída de aproximadamente 3.800 m². Reconhecido como o mais importante bem do patrimônio histórico do estado do Ceará, Brasil, o edifício foi tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) em 1964.

O desenvolvimento do sistema tem início com uma etapa de diagnóstico do problema, na qual são identificadas lacunas nos métodos atualmente adotados pela instituição para a gestão das atividades de manutenção dos ativos. Esse diagnóstico evidencia desafios operacionais, tais como a ausência de sistemas integrados, a fragmentação das informações e a falta de padronização da documentação técnica.

Figura 1 - Teatro José de Alencar



Fonte: Elaborado pelo autor.

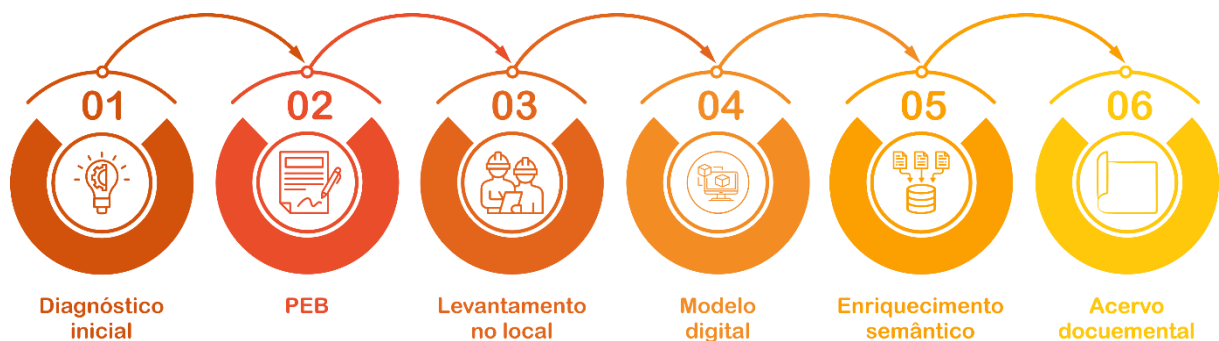
Na sequência, as necessidades específicas da edificação são analisadas por meio da coleta de dados junto à equipe técnica responsável e da realização de um levantamento detalhado dos ativos. Nessa etapa, o objetivo principal é compreender o perfil operacional do cliente, as restrições técnicas existentes e as demandas reais que o sistema deve atender. Com base nessa análise preliminar, foram estabelecidas três diretrizes fundamentais:

- O sistema deve apresentar alta usabilidade, exigindo treinamento mínimo e disponibilizando as informações de forma clara, por meio de painéis visuais (*dashboards*) e relatórios gerenciais;

- As funcionalidades devem ser restritas ao estritamente necessário, evitando complexidades adicionais que possam comprometer a experiência do usuário;
- Baixos custos de desenvolvimento e operação constituem um requisito essencial, assegurando a viabilidade do sistema para organizações com restrições orçamentárias.

A partir dessas diretrizes, o sistema proposto emprega modelos BIM orientados à manutenção predial, integrados a rotinas automatizadas responsáveis pela atualização das informações dos componentes por meio de planilhas padronizadas. O objetivo é apoiar o monitoramento dos elementos do Sistema de Proteção Contra Incêndio e de suas respectivas atividades de manutenção. O sistema também contempla a identificação física dos elementos por meio de códigos de identificação únicos (*IDs*) e a implementação de vínculos visuais para acesso *on-line* às informações associadas a cada componente. O fluxo metodológico (Figura 2) do modelo F2SM é composto por seis etapas, descritas nas Seções 3.2.1 a 3.2.6.

Figura 2 - Fluxograma metodológico do modelo F2SM



Fonte: Elaborado pelo autor.

A metodologia incorpora, na Seção 3.2.7, um protocolo operacional estruturado por meio da *Business Process Model and Notation* (BPMN). Essa abordagem promove maior clareza dos processos e facilita a replicação do presente estudo.

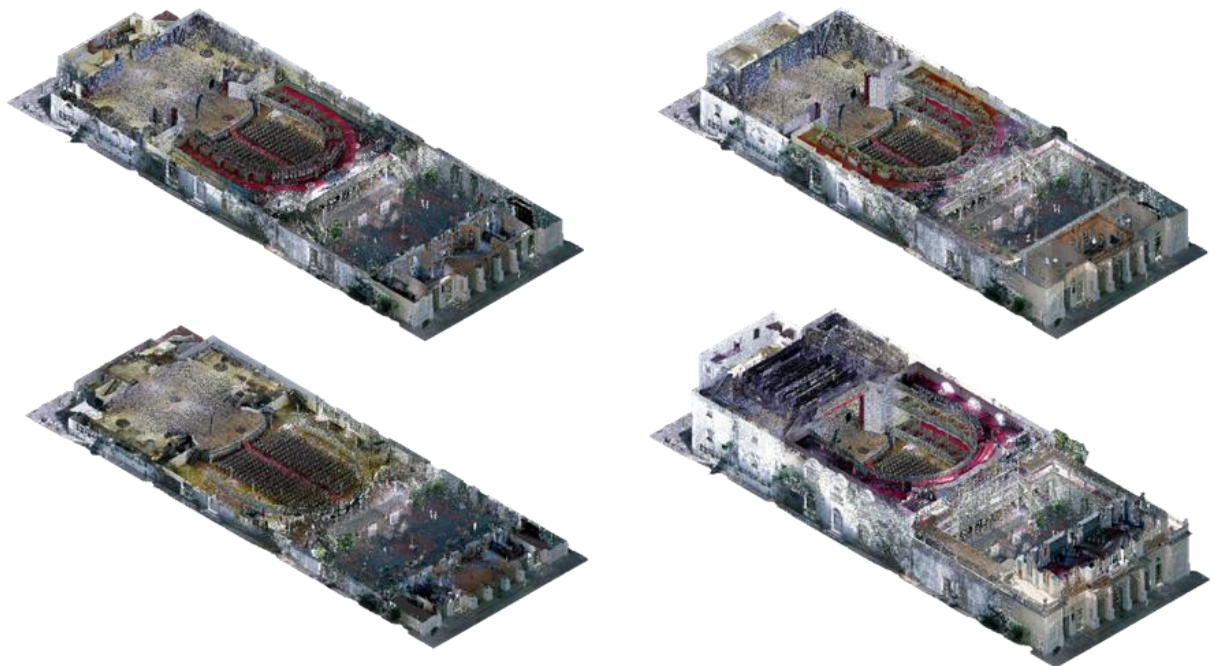
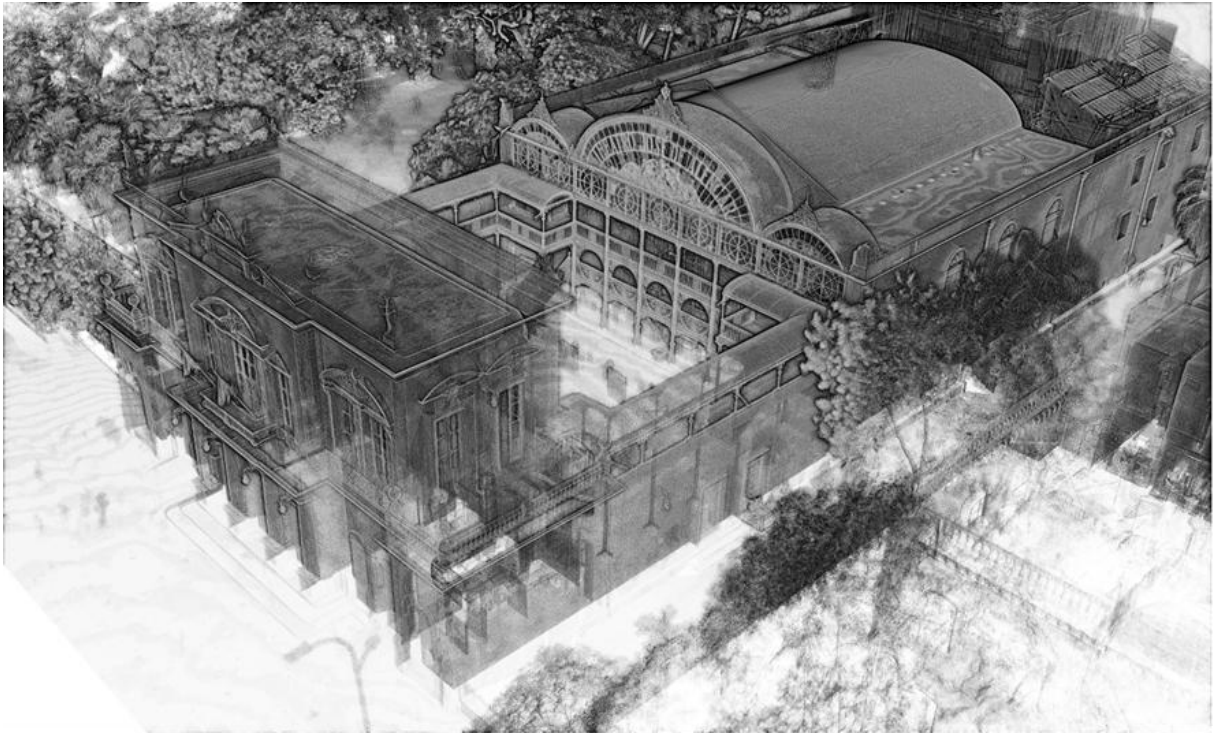
3.2.1 Diagnóstico inicial

O diagnóstico inicial caracteriza as condições atuais da edificação e do sistema de proteção contra incêndio por meio da análise da documentação existente, de observações em campo e da realização de entrevistas. Nessa etapa inicial, os projetos disponíveis, os registros históricos e as informações relacionadas à manutenção foram coletados, organizados e analisados, juntamente com entrevistas destinadas a identificar demandas prioritárias, características operacionais e falhas recorrentes.

As visitas realizadas com a equipe de manutenção do teatro permitiram avaliar o estado de conservação da edificação. A análise incluiu áreas restritas e zonas críticas, identificando condicionantes associadas tanto ao status patrimonial quanto à operação contínua do edifício. As entrevistas do tipo *go-along* realizadas durante as visitas possibilitaram que os profissionais de manutenção relatassem ocorrências históricas e procedimentos rotineiros *in situ*, fornecendo percepções imediatas sobre o estado dos sistemas e as restrições operacionais. A compreensão do funcionamento cotidiano da edificação constituiu um elemento central dessa etapa, subsidiando o planejamento de um cronograma de levantamento em campo compatível com as atividades institucionais e minimizando interferências no uso regular dos espaços.

Foram observados os protocolos internos e os códigos de conduta destinados à preservação da integridade do bem histórico e à proteção da equipe técnica. A investigação concentrou-se na conformidade do sistema de proteção contra incêndio com a legislação local de segurança contra incêndio, evidenciando a ausência de normas específicas voltadas a edificações patrimoniais. Esse processo diagnóstico, que integrou a revisão documental e as entrevistas *go-along*, mostrou-se essencial para a identificação das necessidades do sistema, dos desafios de manutenção e das lacunas informacionais existentes. A partir dessa avaliação, justificou-se a realização de um levantamento *as-is*, fundamentado na análise de uma nuvem de pontos existente apresentada na Figura 3 (Vieira et al., 2023) e no *tour* virtual disponibilizado na plataforma DocumentaCE (Chief Scientist Program for Culture (Brazil), 2026).

Figura 3 - Nuvem de Pontos existente do Teatro



Fonte: Adaptado pelo autor (Vieira et al., 2023).

Os levantamentos realizados favoreceram a colaboração entre a equipe de modelagem e a equipe de manutenção. Essa parceria fomentou um compromisso compartilhado com a proteção da edificação e com o desempenho dos sistemas, prioridade reforçada pelo caráter público do teatro. Além disso, a troca contínua de informações ao longo dessas visitas

contribuiu para a superação de lacunas técnicas, assegurando que o modelo digital refletisse com precisão as realidades operacionais e os objetivos institucionais de preservação.

3.2.2 Plano de Execução BIM

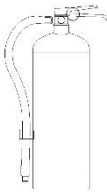


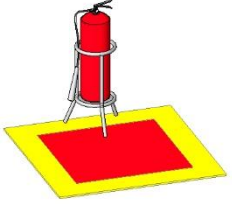
A segunda etapa compreende a elaboração do PEB, que estabelece as diretrizes destinadas a orientar o fluxo de modelagem e a estratégia de gestão da informação ao longo de todo o ciclo de vida do projeto. Os processos, recursos, técnicas e requisitos associados ao BIM foram definidos previamente ao início das etapas subsequentes de modelagem digital e em conformidade com os usos pretendidos do modelo (Moral Saiz; Oliver-Faubel; Jordán Palomar, 2021), evitando lacunas quanto às funcionalidades esperadas. A padronização e o controle da qualidade foram assegurados por meio de regulamentações BIM (Antonopoulou; Bryan, 2017). O PEB do projeto seguiu a ISO 19650-2:2022 (ABNT NBR ISO 19650-2, 2022), adaptando a abordagem BIM de modelagem arquitetônica proposta em (Ribeiro et al., 2026) para um enfoque voltado à manutenção. Como resultado, o Modelo da Informação do Ativo (AIM) foi definido como o principal entregável, consolidando dados geométricos, documentais e operacionais para a gestão ao longo do ciclo de vida.

Do ponto de vista operacional, o PEB definiu a identificação dos objetos e os OIR estratégicos. Os AIR contemplaram os casos de uso do F2SM; os Requisitos de Troca de Informação (EIR) disciplinaram o repositório de dados, os protocolos de troca de informações e os fluxos de comunicação; enquanto o Nível de Informação Necessária (LOIN) tratou das especificações técnicas de modelagem e de cronograma. De acordo com a BS EN ISO 7817-1:2024 (BS EN ISO 7817, 2024), o Nível de Informação (NI) foi adotado como estrutura de referência para a definição das informações geométricas, alfanuméricas e documentais no ambiente BIM. Os critérios adotados para o Nível de detalhe (ND) e para o NI foram definidos da seguinte forma: ND1 corresponde a um modelo bidimensional, representado por símbolos ou ilustrações genéricas dimensionais; ND2 refere-se a uma geometria genérica com dimensões aproximadas; ND3 inclui geometria detalhada com dimensões específicas, tais como altura, largura e comprimento; e ND4 abrange geometria com dimensões precisas, incorporando detalhes de elementos relacionados a outros aspectos da mesma disciplina ou de disciplinas distintas.

No que se refere ao conteúdo informacional, o NI1 inclui dados básicos de identificação e localização dos objetos; o NI2 agrega informações de identificação, localização e geometria elementar; o NI3 contempla identificação, localização e geometria suficientemente

definidas para possibilitar a extração de quantitativos; e o NI4 reúne as informações necessárias ao planejamento, à operação e à manutenção. Ressalta-se que os níveis de ND e NI podem evoluir de forma independente, permitindo que determinados elementos apresentem elevado grau de detalhamento geométrico associado a um nível informacional relativamente baixo, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Nível de Necessidade de Informação (LOIN) para um modelo BIM que dê suporte à manutenção.

NÍVEL DE INFORMAÇÃO NECESSÁRIA (LOIN): EXTINTOR DE INCÊNDIO						
NÍVEL DE DETALHE	ND1	ND2	ND3		ND4	
						
NÍVEL DE INFORMAÇÃO	INFORMAÇÃO	TIPO DA INFORMAÇÃO	NI1	NI2	NI3	NI4
	IDENTIFICAÇÃO					
	Código/ID	Alfanumérica	X	X	X	X
	Nomenclatura/Simbologia 2D	Alfanumérica				
LOCALIZAÇÃO						
	Setor	Alfanumérica	-	X	X	X
	Piso - Nível	Alfanumérica				
	Sala	Alfanumérica				
ORÇAMENTO						
	Descrição – Tipo, carga, capacidade de extinção, entre outros	Alfanumérica	-	-	X	X
	Custo unitário	Alfanumérica				
PLANEJAMENTO/ OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO						
	Fabricante	Alfanumérica	-	-	-	X
	Data de instalação	Alfanumérica				
	Tarefa de manutenção e descrição	Alfanumérica				
	Data da última tarefa	Alfanumérica				
	Data da próxima tarefa	Alfanumérica				
	Dias até a próxima tarefa	Alfanumérica				
	Manuais de manutenção técnica	Alfanumérica/Documental				
	Responsável	Alfanumérica				

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.3 Levantamento no local

A terceira etapa consistiu no levantamento em campo, essencial para a verificação, complementação e validação das informações definidas PEB. Esse processo possibilitou a identificação de componentes do sistema de proteção contra incêndio ausentes na nuvem de pontos, ao mesmo tempo em que viabilizou a coleta de dados semânticos, tais como histórico de intervenções, cronogramas de manutenção e especificações técnicas, fundamentais para a gestão de ativos.

Orientado pelo PEB e pelo diagnóstico inicial, implementou-se um levantamento *as-is* (Gouda Mohamed; Mousa, 2024; Huan et al., 2025; Pishdad-Bozorgi, 2017; Schönfelder et al., 2023; Xie et al., 2023). Dados de nuvens de pontos existentes (Vieira et al., 2023) e o *tour* virtual do documentaCE (Chief Scientist Program for Culture (Brazil), 2026) complementaram o levantamento de campo. Contudo, procedimentos manuais permaneceram necessários para a captura de informações semânticas qualitativas, tais como marcas de equipamentos, códigos internos e registros de manutenção, as quais métodos automatizados não foram capazes de resolver devido a restrições de escala e à refletância dos materiais.

Levantamentos em campo foram realizados seguindo um cronograma estabelecido com a administração do ativo. Uma equipe acadêmica multidisciplinar, capacitada na identificação, medição e documentação de elementos do sistema, conduziu o trabalho de campo. A coleta de dados envolveu documentação fotográfica, anotações, cópias impressas de projetos e registros em áudio. Os dispositivos do Sistema de Proteção Contra Incêndio especificados no PEB, tais como extintores, hidrantes e detectores, foram mapeados, com a indicação de suas localizações e identificadores internos. Dados técnicos, incluindo agentes extintores (ex.: categorias de incêndio CO₂, BC ou ABC), datas de instalação, registros de manutenção e especificações do fabricante, foram coletados. Para garantir a rastreabilidade, cada dispositivo foi documentado com fotografias contextuais e detalhadas.

3.2.4 Desenvolvimento de um modelo digital para Sistema de Proteção Contra Incêndio

O modelo digital foi desenvolvido por meio de uma estratégia constituída de duas etapas: uma referência arquitetônica simplificada para coordenação espacial, seguida pela integração dos componentes de proteção contra incêndio com base em seus requisitos funcionais e de manutenção. Orientado primordialmente para o FM, esse processo incorpora dados técnicos e operacionais essenciais para subsidiar a geração de documentação técnica, esquemas e levantamentos quantitativos automatizados.

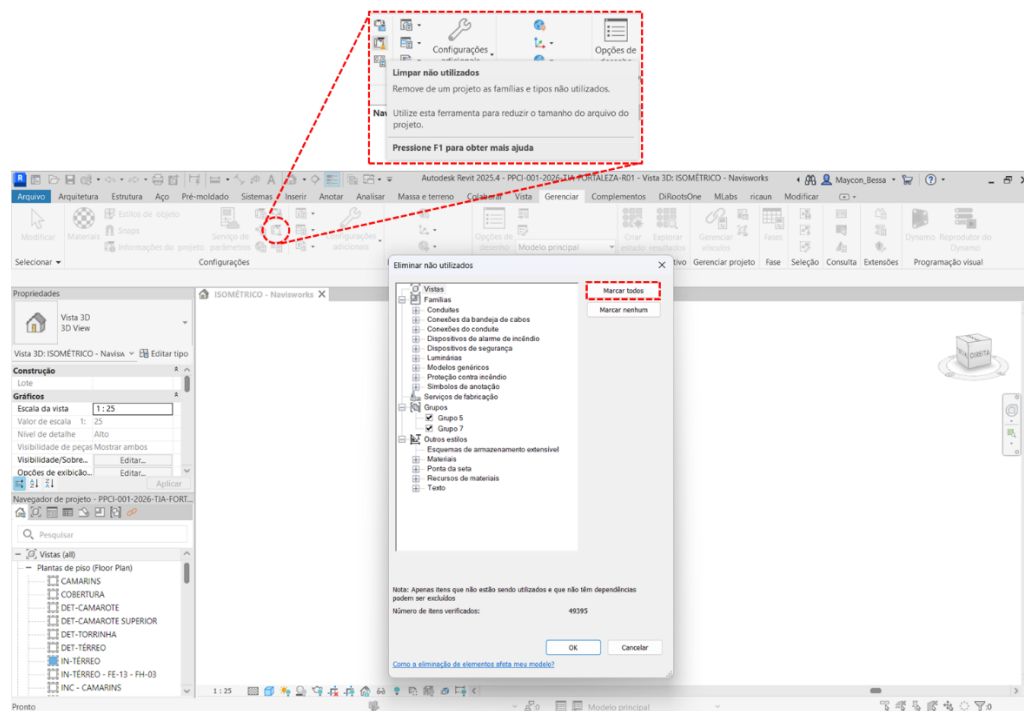
3.2.4.1 Modelo arquitetônico de referência simplificado

Um modelo arquitetônico de referência simplificado foi desenvolvido com base no modelo existente da edificação (Vieira et al., 2023). O modelo foi criado de acordo com as diretrizes metodológicas propostas por (McArthur; Bortoluzzi, 2018), priorizando informações indispensáveis para as atividades operacionais e a gestão da manutenção. Consequentemente,

geometrias excessivamente detalhadas e elementos que não agregavam valor aos processos de gestão de ativos foram deliberadamente excluídos.

Conforme ilustrado na Figura 5, apenas elementos construtivos fundamentais, como paredes, lajes e aberturas, foram preservados, uma vez que servem como referências espaciais para o correto posicionamento e coordenação dos sistemas prediais. Em contrapartida, elementos como ornamentos arquitetônicos e marcenaria, que não eram relevantes para o modelo do Sistema de Proteção Contra Incêndio, foram removidos.

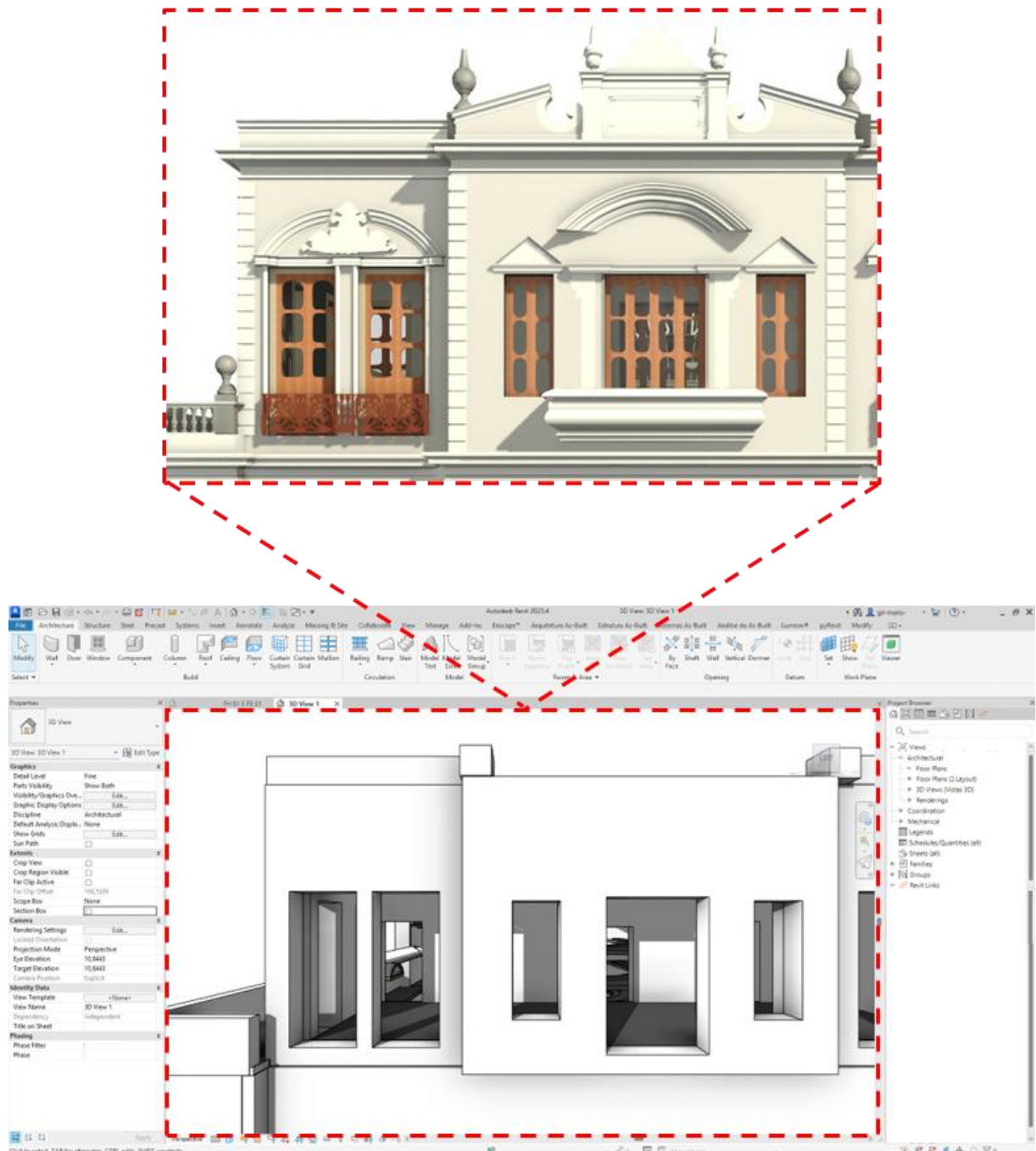
Figura 5 – Remover famílias e tipos não utilizável de um projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a exclusão manual desses componentes, a ferramenta “Eliminar Não Utilizados” do Autodesk Revit® foi aplicada para eliminar famílias e objetos supérfluos remanescentes no arquivo. Esse procedimento otimizou o tamanho do modelo e aprimorou seu desempenho computacional, conforme demonstrado na Figura 6.

Figura 6 - Detalhe da simplificação do modelo arquitetônico digital (Vieira et al., 2023).



Fonte: Elaborado pelo autor.

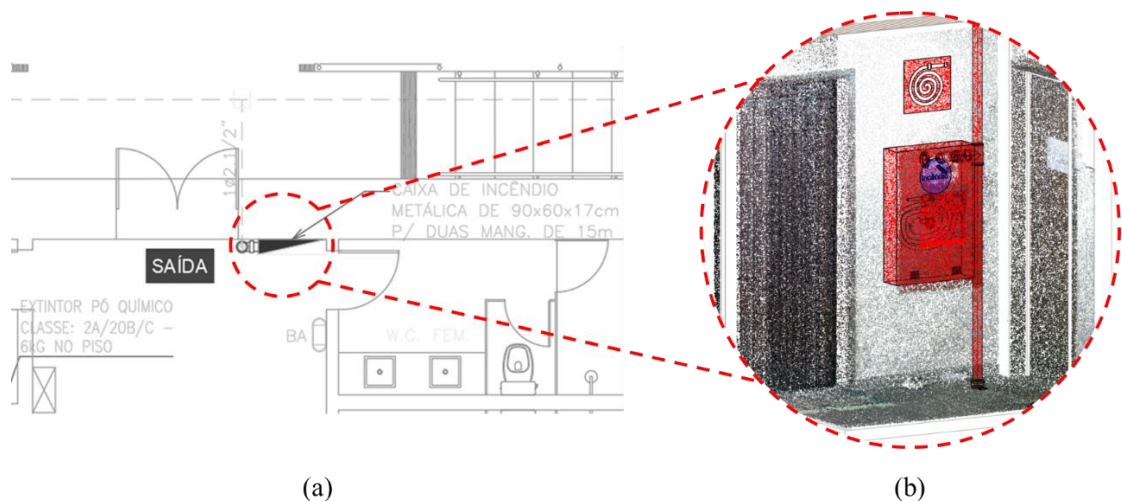
3.2.4.2 Modelo digital de segurança contra incêndio

A modelagem do Sistema de Proteção Contra Incêndio baseou-se no projeto executivo existente desenvolvido em AutoCAD®, complementada por informações extraídas da nuvem de pontos da edificação (Vieira et al., 2023), do *tour* virtual disponível no documentaCE (Chief Scientist Program for Culture (Brazil), 2026) e de dados de levantamento. A integração dessas abordagens garante a confiabilidade das posições e características dos elementos do

sistema. Essa verificação cruzada foi essencial, visto que os elementos do Sistema de Proteção Contra Incêndio não estavam claramente identificáveis tanto na nuvem de pontos quanto nos desenhos CAD, exigindo validação complementar baseada em observações *in situ*.

O processo utilizou um template do Revit® (.rvt) dedicado, pré-configurado com famílias paramétricas para dispositivos de proteção contra incêndio, como extintores e detectores. Inicialmente, o modelo arquitetônico de referência simplificado foi vinculado para fornecer a base espacial de coordenação, seguido pela inserção e georreferenciamento da nuvem de pontos. Realizou-se uma rigorosa calibração vertical para assegurar a consistência entre os dados do levantamento 3D e o ambiente BIM, concluindo-se com a integração do projeto em AutoCAD® (Figura 7) como referência geométrica consolidada para o posicionamento preciso dos componentes.

Figura 7 - Detalhe do modelo digital do Sistema de Proteção Contra Incêndio: (a) projeto CAD e (b) sobreposição de nuvem de pontos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

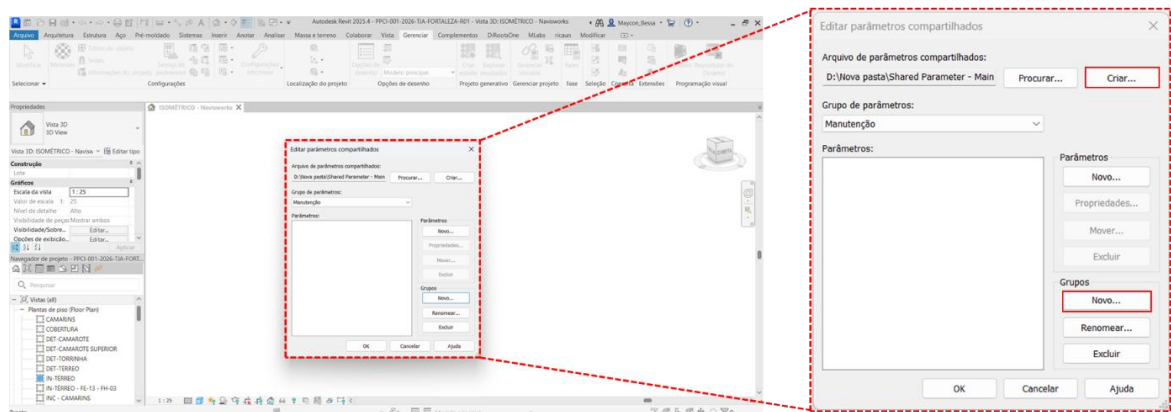
3.2.5 Enriquecimento semântico

O enriquecimento semântico foi alcançado por meio da incorporação sistemática de dados relativos à manutenção no modelo digital de segurança contra incêndio, transformando-o em um repositório de informações denominado modelo F2SM. Paralelamente à modelagem geométrica, atributos como dados do fabricante, datas de instalação e intervenção, intervalos de manutenção, manuais técnicos e responsabilidades de pessoal foram integrados aos parâmetros. Esse processo foi apoiado por uma planilha eletrônica semiestruturada no Excel, que funcionou como um plano de manutenção, consolidando todos os dados do levantamento

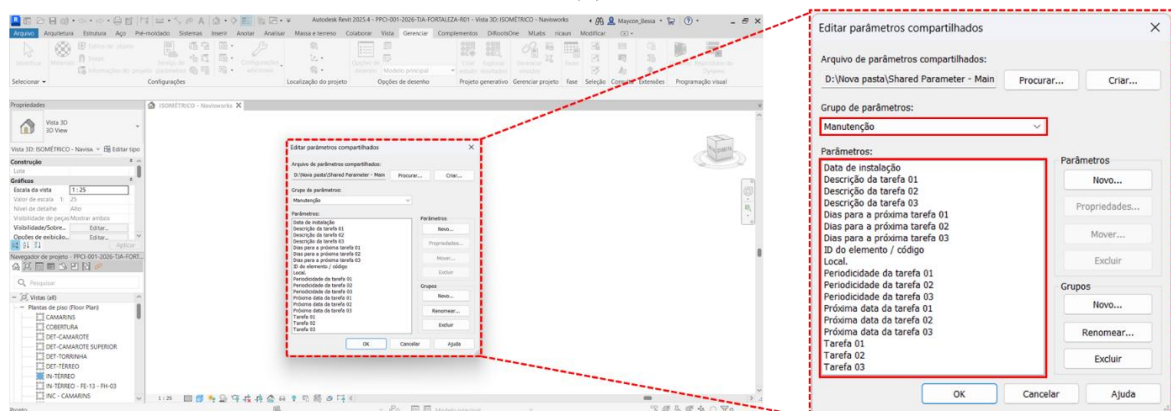
de campo. A planilha foi configurada para interoperabilidade com o Autodesk Revit®, garantindo a consistência informacional e a rastreabilidade em todo o sistema de Gestão de Instalações.

Para transpor a lacuna entre o plano de manutenção em Excel e o modelo BIM, implementou-se um fluxo de trabalho baseado em parâmetros compartilhados. Esse processo envolveu a definição de um arquivo externo de parâmetros compartilhados (.txt) para categorizar os dados de manutenção em grupos distintos (Figura 8a). Uma vez estabelecidos, esses parâmetros foram vinculados às famílias de equipamentos (Figura 8b), criando a base semântica necessária para a gestão automatizada de instalações e garantindo que todos os componentes de proteção contra incêndio estivessem alinhados aos objetivos informacionais do projeto.

Figura 8 – Caixa de Diálogo “Editar Parâmetros Compartilhados”: (a) criação do arquivo de texto (.txt) e definição de grupos de parâmetros e (b) criação e organização de parâmetros compartilhados.



(a)



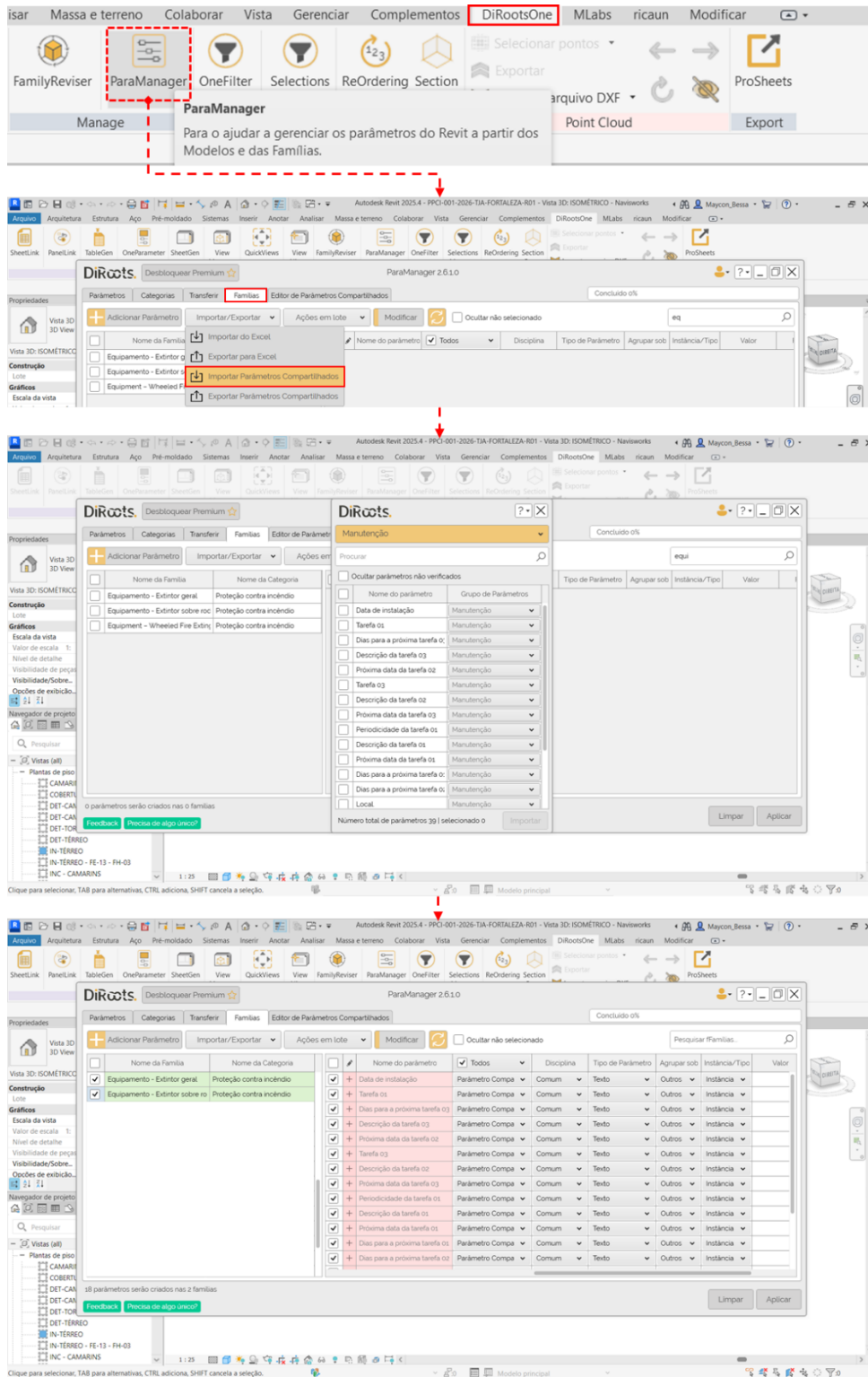
(b)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para automatizar a gestão de parâmetros compartilhados no Autodesk Revit®, utilizou-se o *plugin* DiRoots.One – ParaManager (v. 2.5.0) (DiRoots, 2024). Essa ferramenta permitiu a aplicação simultânea e padronizada dos parâmetros definidos no BEP em todas as famílias de equipamentos, reduzindo significativamente as intervenções manuais e os erros de configuração. O *ParaManager* possibilitou que os parâmetros compartilhados fossem importados e distribuídos nos elementos de proteção contra incêndio. Essa automação foi essencial para lidar com o extenso conjunto de dados exigido pela gestão da manutenção, incluindo datas de instalação, registros de intervenção, periodicidade de tarefas e atribuições de pessoal, transpondo a lacuna entre os dados coletados em campo e o modelo digital.

O fluxo de trabalho de aplicação de parâmetros envolve a seleção das famílias, a importação dos parâmetros compartilhados e a validação de sua associação como parâmetros de instância. Essa etapa garantiu que os dados semânticos fossem preenchidos e atualizados com precisão. A Figura 9 ilustra a ferramenta do *plugin DiRoots.One-ParaManager* na barra de ferramentas do Autodesk Revit®.

Figura 9 - A ferramenta *DiRootsOne-ParaManager* na barra de ferramentas de complementos do Autodesk Revit®.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O preenchimento de dados semânticos no modelo BIM foi operacionalizado por meio de automação baseada em Dynamo®. Um pré-requisito para isso foi a orientação dos parâmetros de ID do Elemento, a fim de garantir a correspondência absoluta entre os dados da

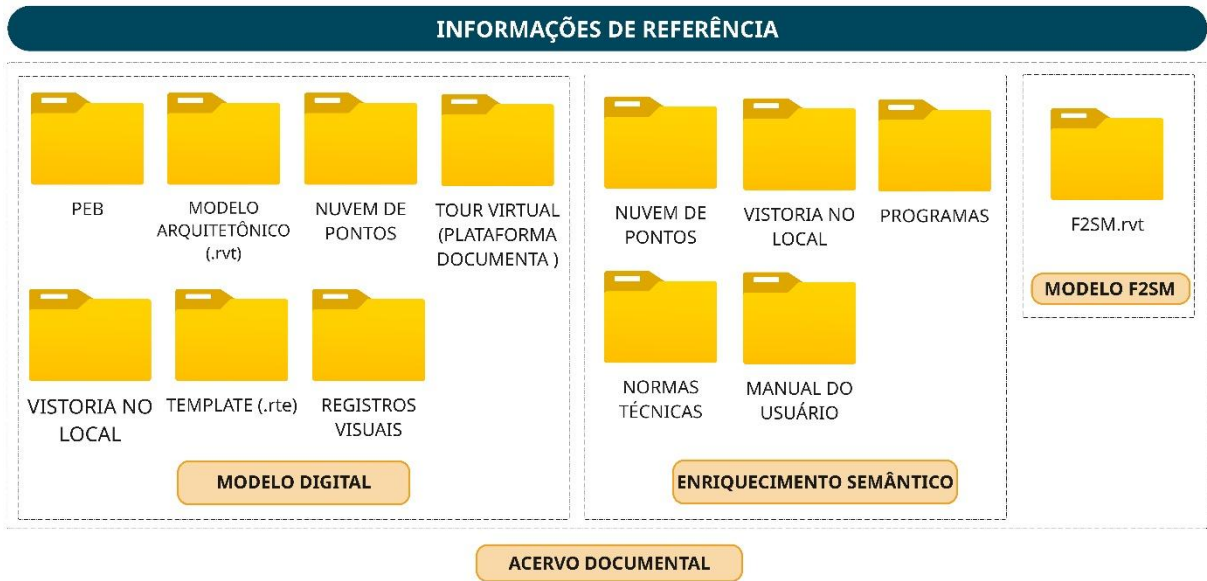
planilha e os componentes BIM. A implementação de rotinas no Dynamo[®] permitiu uma conexão dinâmica entre essas plataformas, promovendo atualizações contínuas e uma robusta integridade de dados ao longo do ciclo de vida da edificação. Conseqüentemente, o modelo consolidado facilita a gestão proativa da manutenção por meio de recursos como filtragem de *status*, agendamento automatizado e extração simplificada de documentação.

Para garantir a transparência desse fluxo de trabalho, a lógica subjacente foi codificada como pseudocódigo (Algoritmo 1), fornecendo uma estrutura concisa para representar decisões procedimentais e pontos de verificação. O pseudocódigo serve como uma notação estruturada que preserva a lógica do processo sem exigir a sintaxe rígida de uma linguagem de programação; isso permite a tradução de tarefas, decisões e pontos de verificação em construtos abstratos, reduzindo ambiguidades, tornando os critérios de aceitação explícitos e facilitando a revisão, validação e reprodução do processo (Kolhatkar et al., 2023). Ao utilizar o pseudocódigo em vez de apenas a linguagem natural, o fluxo de trabalho beneficia-se de uma maior auditabilidade e de uma transferência de regras mais eficiente entre diferentes instâncias do projeto. Esse método alinha-se a estudos recentes que enfatizam a importância da representação lógica estruturada para a modelagem de fluxos complexos com ciclos integrados de feedback e aprovação (Chae et al., 2024).

3.2.6 *Acervo documental*

O acervo documental atua como um centro de integração entre os levantamentos físicos e o ambiente digital. Esse processo é mais robusto que o simples acúmulo de arquivos, funcionando como um Ambiente Comum de Dados (CDE) estruturado, onde as entradas geométricas (DWG/RVT/PDF) e os metadados operacionais (manuais técnicos, cronogramas e planos de manutenção) são categorizados. Ao organizar essa documentação em um banco de dados relacional que se comunica dinamicamente com o modelo digital via Dynamo[®] e DiRoots, a metodologia garante que informações críticas sobre prazos e diretrizes de preservação sejam transformadas de registros estáticos em ativos digitais acionáveis. Essa arquitetura de dados permite que o modelo funcione como um “dossiê vivo”, facilitando a recuperação eficiente de informações e o suporte à decisão em tempo real para a gestão do patrimônio. A Figura 10 ilustra a estrutura dos dados coletados, organizada em três categorias: modelo digital, enriquecimento semântico e o modelo F2SM.

Figura 10 - Os dados coletados estruturados em três categorias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.7 Protocolo para o desenvolvimento do modelo F2SM

Para garantir a padronização e a reprodutibilidade, um protocolo F2SM foi desenvolvido por meio de uma abordagem metodológica estruturada. O protocolo, orientado à gestão da manutenção, integra sistematicamente a definição do PEB às etapas de diagnóstico inicial, levantamento de campo, desenvolvimento do modelo digital, enriquecimento semântico e organização do acervo documental, estruturando, assim, um fluxo de trabalho metodológico consistente e aplicável a contextos de gestão do ciclo de vida das edificações.

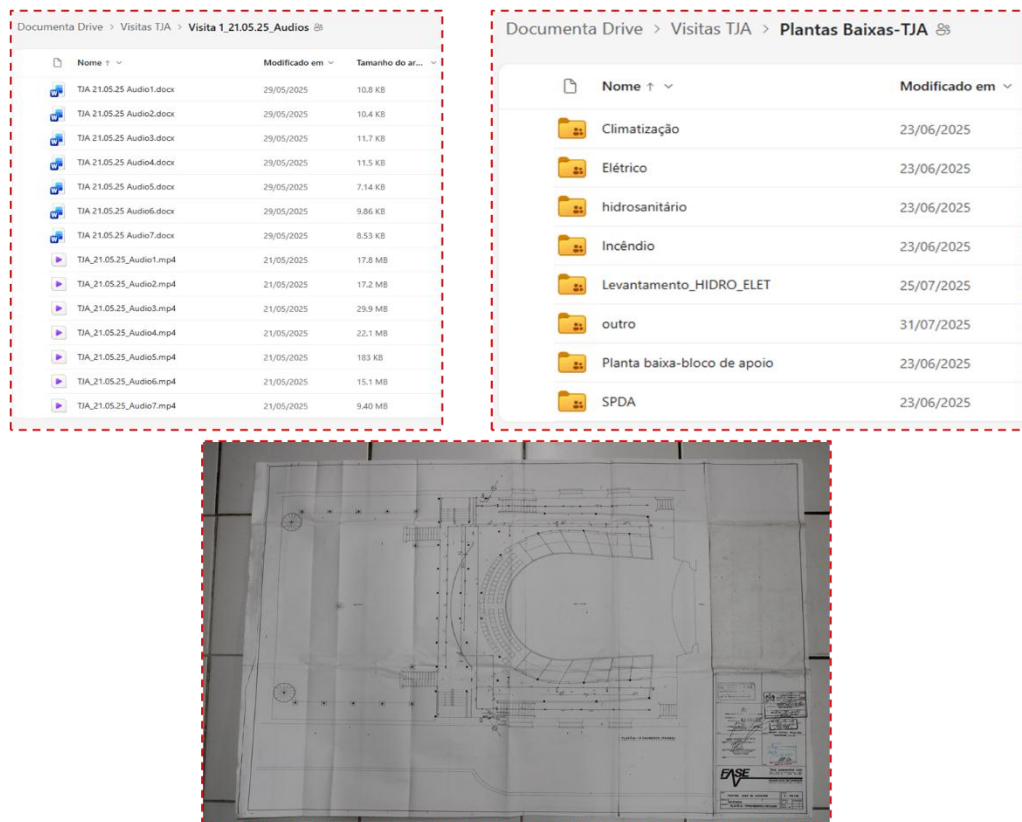
Cada etapa foi mapeada e formalizada de acordo com a notação BPMN, garantindo que todas as fases procedimentais sejam explicitamente definidas e auditáveis (INOJOSA et al., 2024; Ribeiro et al., 2026). Os pseudocódigos nos Algoritmos 2 e 3 formalizam a lógica operacional do protocolo. O Algoritmo 2 encapsula a etapa de planejamento, desde a avaliação diagnóstica até a formulação do PEB e a coleta de dados, enquanto o Algoritmo 3 descreve a fase de execução, focando na modelagem semântica e na geração da documentação (*output*). Ambos os algoritmos incorporam portais de validação (*gateways*), nos quais o avanço para as sub etapas subsequentes requer aprovação explícita da gestão para garantir a integridade do processo.

3.3 Resultados e discussões

3.3.1 Diagnóstico inicial

O diagnóstico inicial identificou as necessidades de gestão da manutenção por meio de uma visita técnica ao local, realizada sob a supervisão da equipe de manutenção. A coleta de dados (Figura 11) resultou em registros em áudio, fotografias e arquivos em formato PDF/DWG. Além disso, desenhos físicos de reformas anteriores foram digitalizados e integrados a um acervo digital fornecido pela administração do teatro.

Figura 11 - Coleta de dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise demonstrou que as atividades de manutenção são primordialmente corretivas, devido à carência de um planejamento preventivo e de dados técnicos confiáveis. Além disso, as representações gráficas existentes estão incompletas ou desatualizadas, tornando-as inadequadas para as operações. Conseqüentemente, realizou-se um levantamento *as-is*, com foco nos componentes acessíveis e na definição de dados essenciais para a gestão.

3.3.2 Plano de Execução BIM

O PEB abrange a construção do OIR, AIR e EIR. No escopo do OIR, foram estabelecidos os objetivos estratégicos e os usos pretendidos do modelo. No caso específico do teatro, o objetivo foi desenvolver um modelo focado na gestão da manutenção da segurança contra incêndio para subsidiar o planejamento, as operações e a manutenção da edificação. O AIR definiu o LOIN para dar suporte à manutenção do sistema e à extração de quantitativos. Os elementos de proteção contra incêndio, incluindo extintores, hidrantes e sistemas de alarme, seguiram os padrões ND 3 e NI 4. Enquanto o ND 3 foi utilizado para famílias preexistentes com dimensões específicas, o ND 2 foi adotado para componentes modelados, com uma representação geométrica simplificada. Essa abordagem enfatiza a importância primordial da informação semântica sobre o detalhamento geométrico para a Gestão de Instalações.

A definição do LOIN para o sistema de hidrantes (Figura 12) estabelece atributos de NI específicos categorizados por uso. A identificação foca no Código/ID e na localização espacial (pavimento), enquanto os requisitos de estimativa de custos incluem preços unitários e detalhes técnicos, como dimensões do abrigo e especificações da mangueira. Por fim, os dados de Operação e Manutenção consistem em um conjunto abrangente de atributos: informações do fabricante, histórico de instalações e intervenções, cronogramas de manutenção, manuais técnicos e pessoal atribuído.

Figura 12 - Definição do Nível de Necessidade de Informação (LOIN) para o Sistema de Hidrantes.

	NÍVEL DE DETALHE (ND)	NÍVEL DE INFORMAÇÃO (NI)
SISTEMA DE HIDRANTES	ND3: Geometria definida com dimensões específicas, como altura, largura e comprimento.	1. Identificação
		Código/ID
		Localização
		Pavimento - Nível
		2. Análise e Simulação
		3. Orçamento
		Descrição detalhada do equipamento (Tamanho do abrigo, quantidade de mangueiras, comprimento das mangueiras entre outros)
		Custo unitário
		4. Planejamento/Operação e Manutenção
		Fabricante
		Data da instalação
		Tarefa e descrição das manutenções
		Data da última tarefa
		Data da próxima tarefa
		Dias para a próxima tarefa
		Manuais técnico de manutenção
Responsável		

Fonte: Elaborado pelo autor.

O AIR delineou o cronograma de modelagem, incluindo a duração das atividades e o status de progresso, juntamente com a equipe do projeto e o conjunto de *softwares*, o qual compreendeu Microsoft Excel, Autodesk Revit® 2023, DiRootsOne (v.2.5.0) e Dynamo® 2023. Além disso, o AIR estabeleceu convenções de nomenclatura padronizadas e especificações técnicas para garantir uma organização informacional consistente. Complementarmente, o EIR definiu os protocolos de intercâmbio de informações, designando o Microsoft OneDrive como o repositório e estabelecendo frequências de atualização e fluxos de trabalho de comunicação para manter o controle e a confiabilidade dos dados ao longo de todo o processo.

3.3.3 Levantamento no local

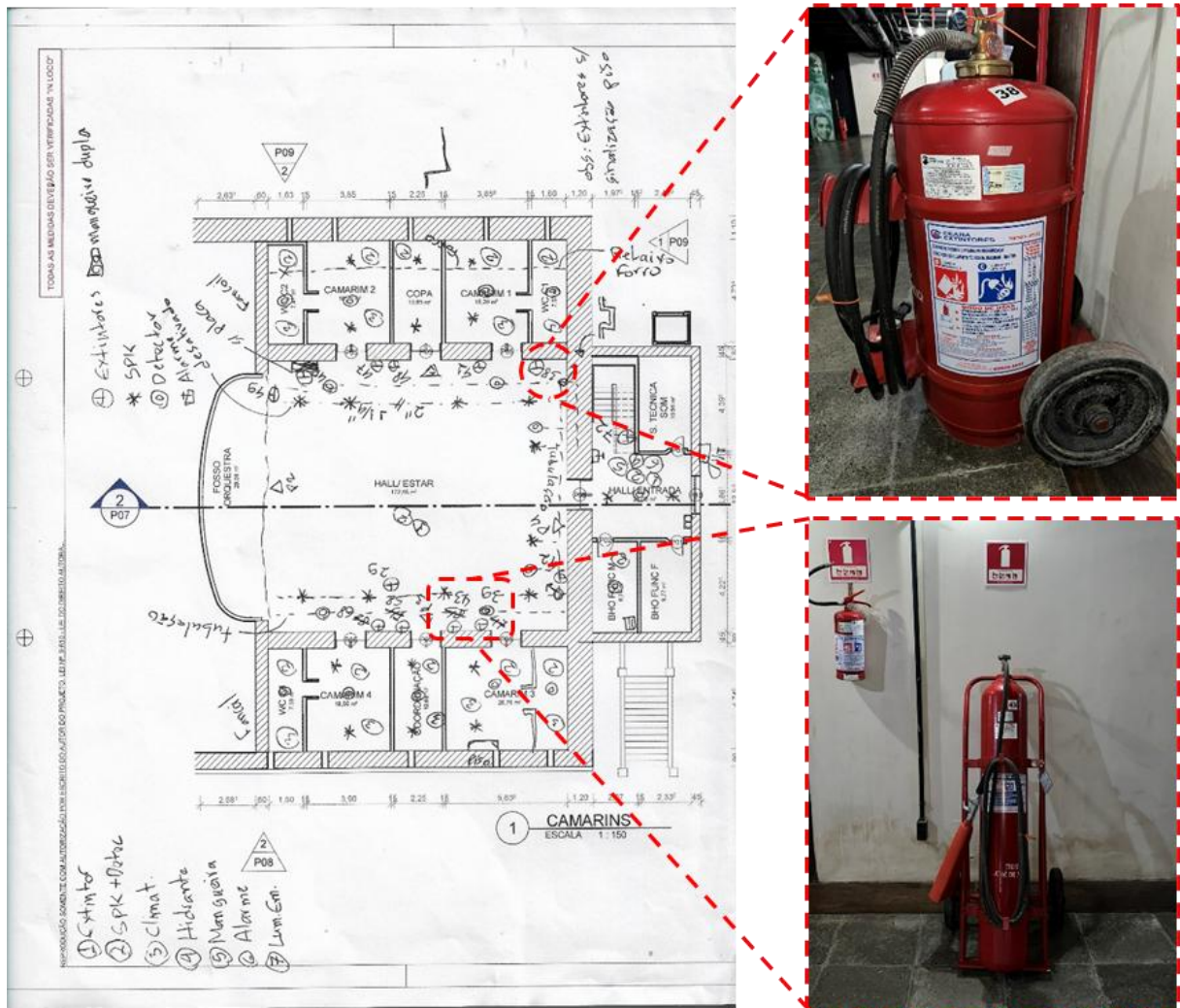
Os resultados do levantamento em campo destacam a importância da verificação empírica para a qualificação do modelo *as-is* do Sistema de Proteção Contra Incêndio. A

comparação entre os desenhos em CAD, os dados da nuvem de pontos e os dados do tour virtual revelou inconsistências geométricas e dispositivos ausentes, indicando que a documentação existente não representava fielmente a configuração real do sistema, particularmente em edifícios históricos sujeitos a sucessivas adaptações. A inspeção presencial identificou discrepâncias entre o projeto original e a condição atual dos equipamentos, resultantes de intervenções não registradas, confirmando, assim, a fragmentação e a perda de confiabilidade das informações técnicas em bens patrimoniais, bem como os riscos associados ao planejamento da manutenção baseado em dados desatualizados.

Além da correção geométrica, o levantamento de campo provou ser essencial para a incorporação de informações semânticas relevantes, tais como a identificação dos dispositivos como extintores (Figura 13), datas de instalação, especificações técnicas e históricos de manutenção, os quais não estavam sistematicamente disponíveis nos arquivos digitais. Essas descobertas reforçam a noção de que, apesar dos avanços nas tecnologias de aquisição automatizada de dados, a intervenção humana permanece indispensável no desenvolvimento de modelos BIM orientados à operação.

Por fim, a integração entre levantamento de campo, escaneamento tridimensional e inspeção virtual, combinada a uma equipe multidisciplinar, provou ser uma estratégia eficaz para o desenvolvimento de modelos digitais confiáveis e orientados à manutenção de edifícios históricos.

Figura 13 - Detalhes do levantamento dos extintores no local.



Fonte: Elaborado pelo autor.

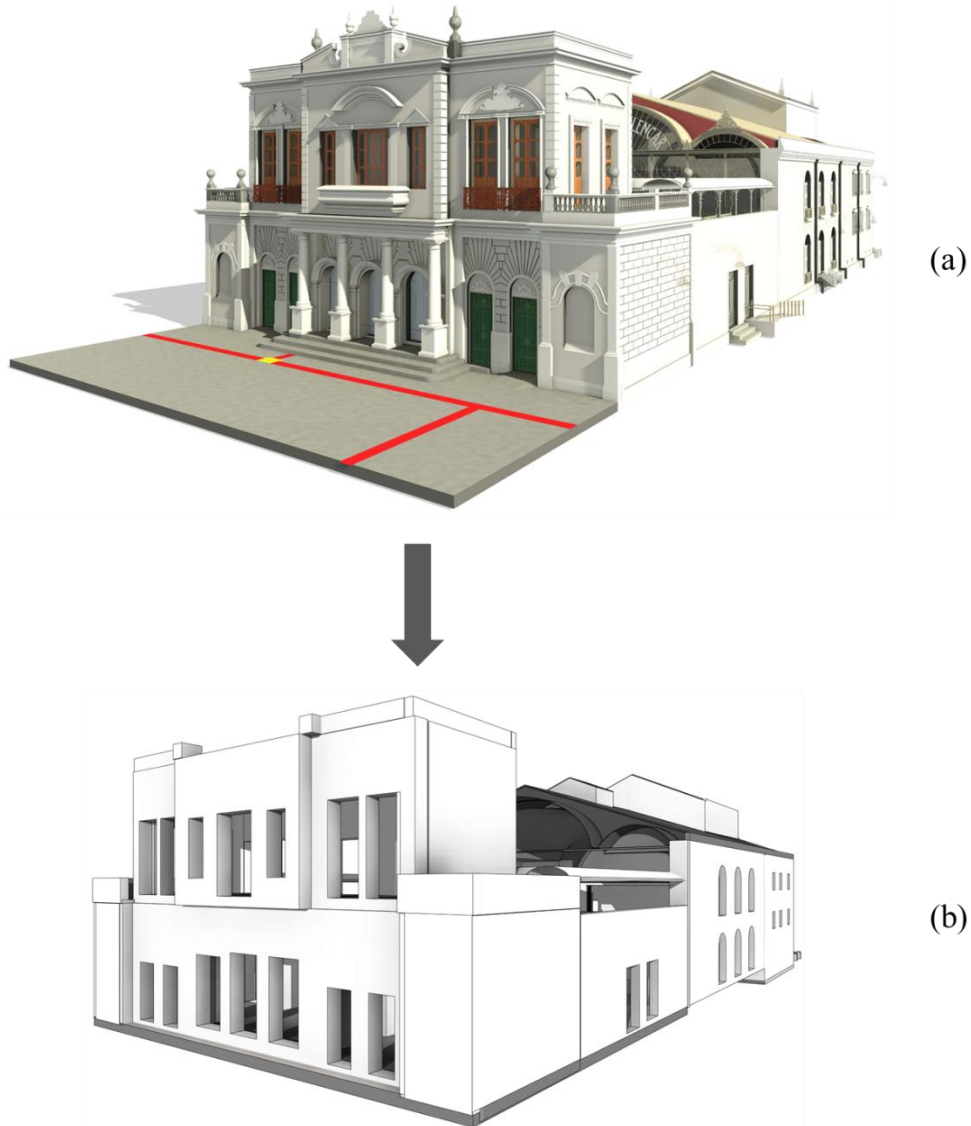
3.3.4 Modelo digital do sistema de proteção contra incêndio

O modelo digital arquitetônico existente do teatro apresenta um alto nível de detalhamento (Figura 14a), assemelhando-se a um Gêmeo Digital, visto que foi projetado como um instrumento de documentação histórica. Contudo, para a manutenção de sistemas, a maior parte dessa informação é desnecessária. Portanto, um modelo simplificado (Figura 14b) foi desenvolvido extraindo-se apenas as informações consideradas essenciais para subsidiar as atividades de manutenção relacionadas ao sistema modelado.

Os dados extraídos do modelo arquitetônico consistem primordialmente em informações de massa geométrica, incluindo: (i) a geometria das vedações, (ii) a geometria estrutural, (iii) as aberturas e (iv) a função dos espaços internos. Esse modelo arquitetônico simplificado serve como referência para a incorporação de dados relativos às atividades de

operação e manutenção. O processo resultou em uma otimização substancial: a contagem de elementos do modelo foi reduzida de 2.408 para 230, uma redução de 90,4%. O tamanho do arquivo também foi significativamente reduzido, de 397.172 KB para 26.972 KB, representando uma redução de 93,2%.

Figura 14 - Detalhe do modelo arquitetônico digital do teatro: (a) modelo de referência e (b) modelo simplificado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma grande quantidade de dados é tipicamente incorporada em modelos *as-built* e informacionais. Embora parte dessas informações permaneça relevante durante a fase de operação e manutenção, uma parcela significativa possui aplicabilidade real limitada. A presença de dados excedentes pode comprometer o desempenho do modelo, afetando negativamente atividades de gestão específicas. Informações extras ocupam espaço, exigem

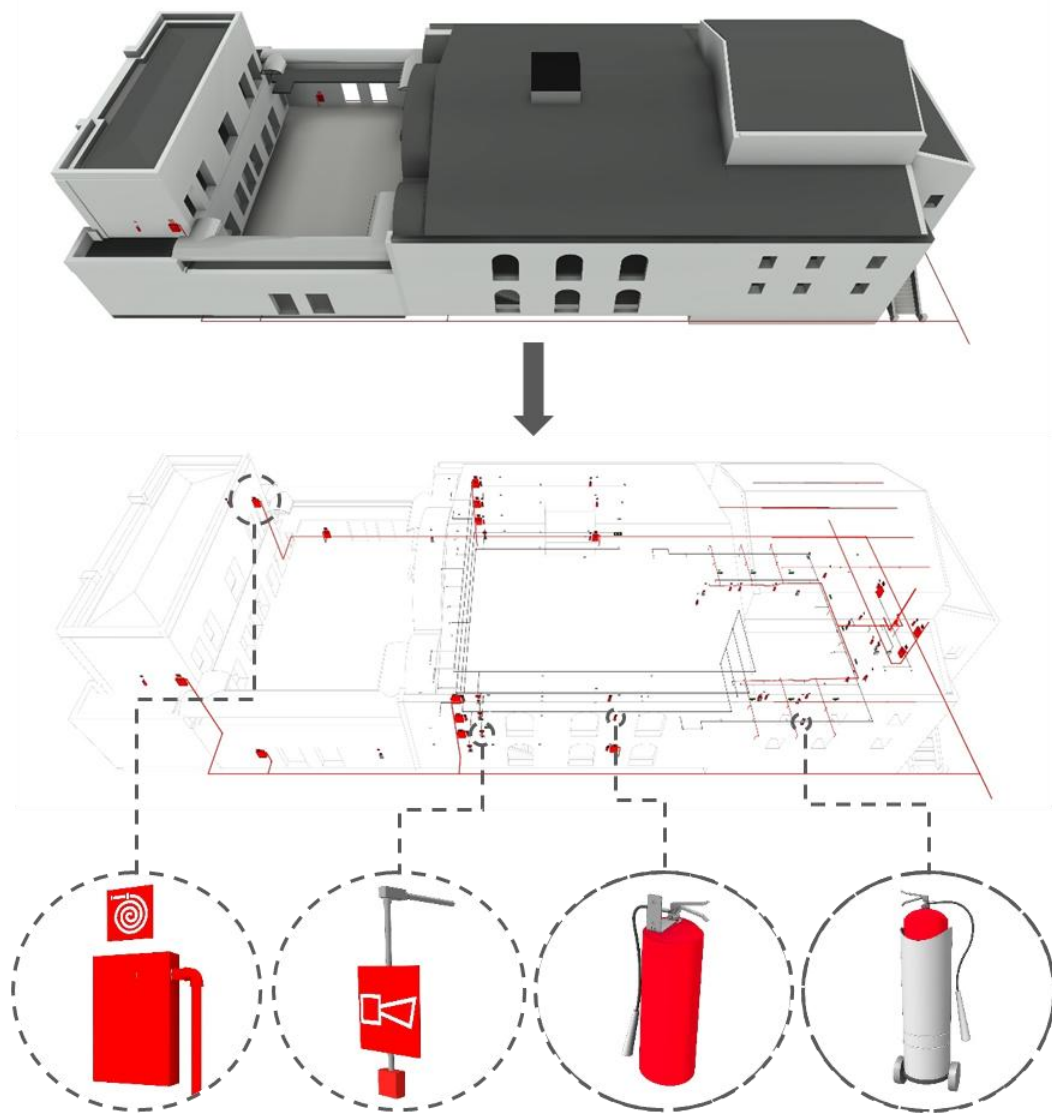
maior poder computacional e aumentam o tempo de transferência. Além disso, informações desnecessárias podem levar a erros e à redução da produtividade, afetando a tomada de decisão.

A simplificação do modelo arquitetônico é impulsionada pela necessidade de mitigar o “lixo digital”, definido como ineficiências, redundâncias e consumo desnecessário de recursos computacionais no ambiente digital que não agregam valor ao processo decisório. Conforme destacado por (Padovano et al., 2024), a presença de informações irrelevantes em modelos digitais caracteriza uma forma de “superprodução” (excedente de dados/modelos além do necessário). Esse excedente de dados compromete o desempenho técnico e amplia o impacto ambiental do ativo ao gerar uma demanda contínua de energia para processamento e armazenamento de dados.

Nesse contexto, a redução de 90,4% no número de elementos e de 93,2% no tamanho total do arquivo representam mais do que uma mera otimização técnica; refletem uma estratégia de “racionalização de portfólio” voltada ao aumento da eficiência operacional e da sustentabilidade. Ao eliminar dados com aplicabilidade limitada durante a fase de operação e manutenção, o modelo resultante alinha-se aos princípios de “TI Verde”, reduzindo a “pegada digital” e garantindo que o ecossistema de informações permaneça “enxuto” (*lean*), conforme conceituado por (Romero et al., 2018).

A modelagem dos Sistemas de Proteção Contra Incêndio, compreendendo detecção, extintores, hidrantes e *sprinklers*, seguiu uma abordagem *lean* e as melhores práticas de BIM para a Gestão de Instalações (Matarneh et al., 2019c), promovendo a eficiência do modelo. O processo foi conduzido como um modelo *as-is* para garantir a fidelidade geométrica às condições reais do teatro. Para assegurar a precisão operacional, realizaram-se verificações de interferência (*clash detection*) entre os componentes de proteção contra incêndio, a arquitetura existente e outros sistemas prediais, resultando em um modelo coordenado e otimizado para a FM, conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15 - Modelo digital de Sistema de Proteção Contra Incêndio integrado ao modelo arquitetônico para suporte à Gestão de Instalações.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.5 *Enriquecimento semântico - sistema de controle de datas e rotinas*

Com base nos recursos do sistema, a abordagem proposta busca reduzir a dependência de especialistas avançados em BIM, viabilizando sua aplicação pela equipe atual. Para possibilitar essa implementação, um modelo simples de planilha de plano de manutenção foi desenvolvido e organizado em formato tabular, contendo informações que devem ser atualizadas periodicamente (Tabela 1). A tabela divide-se em duas seções principais: um cabeçalho com informações gerais da edificação e campos específicos para o registro sistemático das atividades de operação e manutenção dos ativos.

Tabela 1 - Detalhes da folha do plano de manutenção.

Folha de Plano de Manutenção									
Responsável	Maycon H. O. Bessa		Data de hoje	03/02/2026					
Prédio	Teatro José de Alencar								
Revisão	R00								
ID/código do elemento	Descrição	Local	Data de instalação	Tarefa	Descrição	Periodicidade	Última data da tarefa	Próxima data da tarefa	Dias para a próxima tarefa
FE-50	Extintor na parede - Carga de Pó BC - 12Kg 40-BC	Sala de Apoio	01/10/2024	Limpeza	Higienização	60	15/01/2026	16/03/2026	41
				Inspeção	Análise de Nível 1 e 2	180	01/10/2025	30/03/2026	55
				Intervenção	Troca de mangueira	1800	01/10/2025	05/09/2030	1675
FE-01	Extintor na parede - Carga de Pó BC - 12Kg 40-BC	Sala de Apoio	05/06/2015	Limpeza	Higienização	60	20/02/2025	21/04/2025	-288
				Inspeção	Análise de Nível 1 e 2	180	21/02/2025	20/08/2025	-167
				Intervenção	Troca de mangueira	1800	22/02/2025	27/01/2030	1454
FH-02	Hidrante simples 60x90x17 - 2x15m	Sala de Apoio	05/06/2015	Limpeza	Higienização	60	20/02/2025	21/04/2025	-288
				Inspeção	Análise de Nível 1 e 2	180	21/02/2025	20/08/2025	-167
				Intervenção	Troca de mangueira	1800	22/02/2025	27/01/2030	1454

Fonte: Elaborado pelo autor.

A integração de dados ao ambiente BIM via inserção automatizada de parâmetros compartilhados facilitou o desenvolvimento de um banco de dados escalável, ao permitir a aplicação padronizada de atributos de manutenção em todas as famílias do sistema de proteção contra incêndio. Utilizando o “*ParaManager*”, arquivos de parâmetros compartilhados foram importados e atribuídos como parâmetros de instância em múltiplas famílias, mitigando a redundância manual e reduzindo o risco de omissões informacionais ou mapeamento incorreto de atributos. Após a inserção dos parâmetros, rotinas baseadas em Dynamo® preencheram automaticamente o modelo com dados oriundos da planilha do plano de manutenção, garantindo a sincronização entre os registros externos e o banco de dados BIM. A rotina (Figura 16a) consiste em três módulos de processamento, com sua lógica operacional formalmente detalhada no Algoritmo 1 (Figura 17) para garantir a rastreabilidade metodológica e a reprodutibilidade.

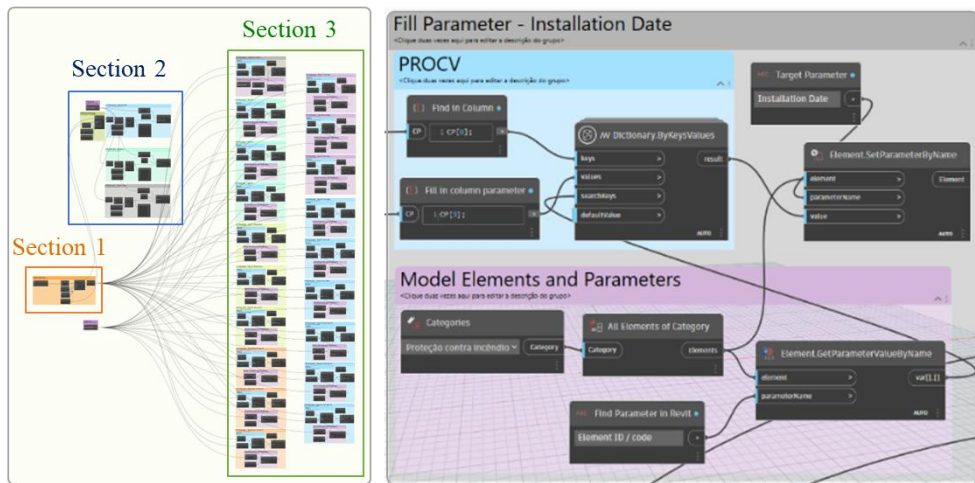
A Seção 1 (Figura 16c) refere-se à importação e leitura de dados de um arquivo Excel, seguida pela transposição da matriz de dados. Inicialmente, o usuário seleciona o arquivo desejado utilizando o nó “File Path”, que armazena o caminho do arquivo Excel. Esse caminho é então convertido em um objeto de arquivo pelo nó “File From Path”, permitindo o processamento dos dados. Em seguida, o nó “Data.ImportExcel” importa as informações contidas na aba específica da planilha, cujo nome é definido no nó “Excel Sheet Name”. Dois parâmetros booleanos são utilizados: um para determinar se os valores serão lidos como cadeias de caracteres (*readAsStrings*) e outro para especificar se o Excel deve ser aberto durante o processo de importação (*showExcel*). Após a importação, a estrutura da matriz de dados pode não estar no formato ideal para o processamento no Dynamo®. Para solucionar isso, o nó

“List.Transpose” é utilizado para reorganizar os dados, invertendo linhas e colunas, garantindo que a informação esteja adequadamente estruturada para as etapas subseqüentes da rotina.

A Seção 2 (Figura 16d) é responsável pelo preenchimento automático das informações do cabeçalho da planilha Excel dentro do Revit®. A rotina lê um intervalo específico da planilha utilizando o nó “Read Excel”, configurado para importar dados entre as células iniciais (*Start*) e finais (*End*) definidas. Os valores extraídos são então organizados utilizando os nós “List.Flatten” e “List.Slice”, que estruturam os dados e extraem apenas os índices necessários para o preenchimento dos parâmetros no Revit®. Em seguida, o nó “All Elements of Category” filtra os elementos com base na categoria especificada. Finalmente, o nó “Element.SetParameterByName” atribui os valores extraídos da planilha aos parâmetros (“Responsável”, “Edificação” e “Data de Hoje”) no modelo BIM, automatizando a atualização das informações do projeto sem a necessidade de inserção manual.

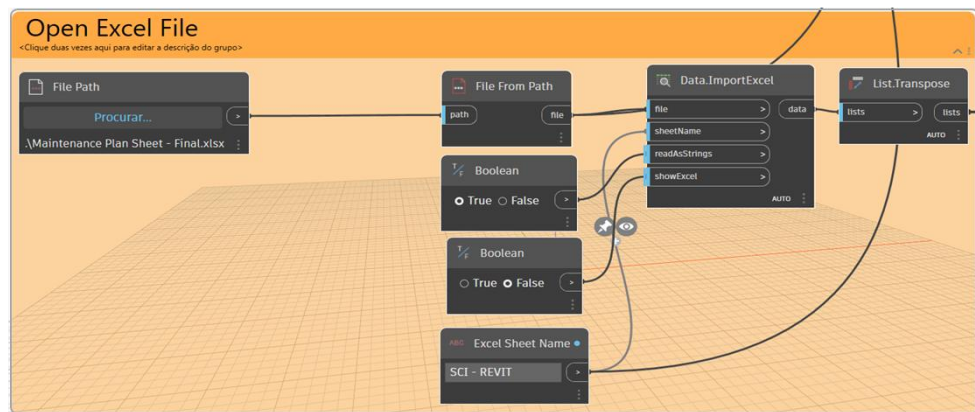
A Seção 3 (Figura 16b) preenche automaticamente os parâmetros “Data de Instalação”, “Tarefa”, “Descrição”, “Periodicidade”, “Data da Última Tarefa”, “Data da Próxima Tarefa” e “Dias para a Próxima Tarefa” para os elementos da categoria especificada no Revit®. O nó “Categories” filtra os elementos pertencentes à categoria selecionada. Em seguida, o nó “All Elements of Category” recupera todos os elementos dessa categoria. O parâmetro de identificação de cada elemento é recuperado utilizando o nó “Element.GetParameterValueByName”, que extrai o “ID/Código do Elemento”. O nó “Find in Column” localiza os valores correspondentes em uma coluna da planilha pré-estruturada, enquanto o nó “Dictionary.ByKeysValues” faz a correspondência entre os valores extraídos e os elementos no modelo BIM. Uma vez estabelecida a correspondência, o nó “Element.SetParameterByName” atualiza os parâmetros dos elementos com os valores da coluna da planilha especificada no nó “Fill in Column Parameter”.

Figura 16 - Fluxograma da rotina.

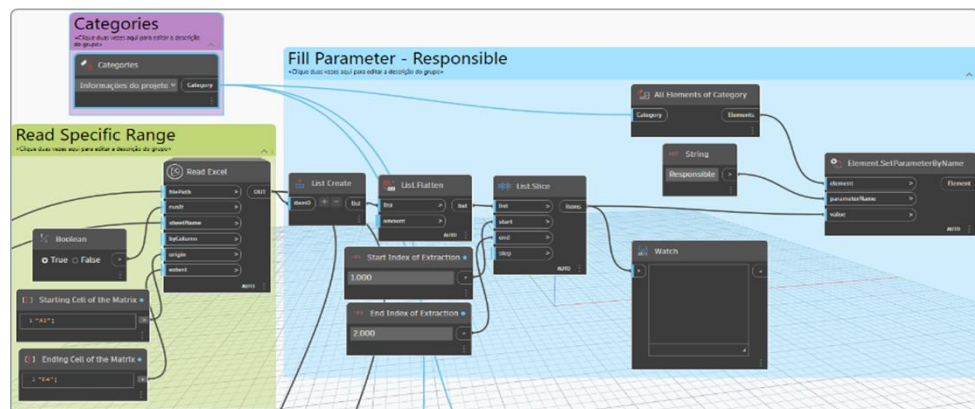


(a)

(b)



(c)



(d)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 - Algoritmo 1.

Input: Excel File F , Sheet Name S , Target Category C_{target}
Output: Updated parameters of elements in C_{target}

```

1:
2: // Phase 1: Data Reading and Preparation
3:  $M \leftarrow \text{ReadSpreadsheet}(F, S)$ 
4:  $M^T \leftarrow \text{Transpose}(M)$ 
5: header_data  $\leftarrow \text{ExtractData}(M^T, \text{header\_range})$ 
6: ids_column  $\leftarrow M^T[\text{id\_column\_index}]$ 
7:
8: // Phase 2: Element Processing and Updating
9: for  $\forall e \in C_{\text{target}}$  do
10: // Assignment of global header data
11:  $e.\text{Responsible} \leftarrow \text{header\_data}[\text{resp\_index}]$ 
12:  $e.\text{Building} \leftarrow \text{header\_data}[\text{building\_index}]$ 
13:  $e.\text{CurrentDate} \leftarrow \text{header\_data}[\text{date\_index}]$ 
14:
15: // Search and assignment of specific element data
16:  $id_e \leftarrow e.\text{ID}$ 
17: row_index  $\leftarrow \text{Find}(id_e, \text{ids\_column})$ 
18: if row_index  $\neq \emptyset$  then
19:   element_data  $\leftarrow M^T[\text{row\_index}]$ 
20:    $e.\text{InstallationDate} \leftarrow \text{element\_data}[\text{inst\_col\_index}]$ 
21:    $e.\text{LastMaintenance} \leftarrow \text{element\_data}[\text{last\_date\_col\_index}]$ 
22:    $e.\text{NextMaintenance} \leftarrow \text{element\_data}[\text{next\_date\_col\_index}]$ 
23:   // ... (other specific parameters)
24: else
25:   LogError('Element ID ',  $id_e$ , ' not found.')
26: end if
27: end for
28:
29: return completion status

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

O enriquecimento semântico do modelo, alcançado pela inserção de parâmetros como IDs únicos, especificações técnicas, datas de instalação e cronogramas de manutenção, constitui a etapa que efetivamente converte a representação geométrica em um sistema de gestão funcional. Essa abordagem alinha-se aos resultados relatados por (Gouda Mohamed; Mousa, 2024), que enfatizam a necessidade de um repositório semântico estruturado para mitigar a fragmentação e a carência de informações sobre o estado atual (*as-is*) de edificações existentes. Ao vincular dados do ciclo de vida e propriedades de intervenção diretamente aos componentes BIM, o sistema desenvolvido atinge o objetivo de estabelecer um banco de dados semântico que facilita a recuperação e o reuso de informações do domínio da manutenção.

O processo implementado via Dynamo® e diRoots aborda diretamente os desafios de customização da estrutura de informações e o dinamismo de dados identificados por (Moreno et al., 2022). Ao automatizar a integração de registros de manutenção e parâmetros de ciclo de vida, o sistema desenvolvido mitiga o ônus da inserção manual de dados e garante que o modelo BIM permaneça como um repositório funcional “*as-is*”. Essa abordagem cria um

ambiente amigável para especialistas que não são da área de BIM, ocultando a complexidade do modelo digital por trás de interfaces acessíveis. Essa iniciativa também aproxima a proposta de um sistema dinâmico que pode ser alimentado em tempo real por sensores ou sistemas de monitoramento dedicados.

3.3.6 Modelo F2SM

O F2SM é o núcleo do sistema de manutenção e o produto dos tópicos anteriores. O modelo é preenchido com informações relevantes para a operação e manutenção. Entre os parâmetros atribuídos aos elementos estão o manual do fabricante, as especificações técnicas do componente e dados de instância. Esses dados incluem identificadores únicos (ID do elemento), data de instalação, descrição das tarefas de manutenção programadas, frequência de cada atividade, data da última intervenção, previsão para a próxima manutenção e o número de dias restantes até o vencimento do serviço. A inclusão desses parâmetros viabiliza a gestão da manutenção e garante o rastreamento individualizado de cada elemento ao longo de seu ciclo de vida.

Além de servir como um repositório confiável de dados, filtros visuais foram desenvolvidos com base nos valores das datas de instância. Isso permite a sinalização automática do status das tarefas, aumentando a eficiência da gestão visual dos ativos. O sistema de codificação por cores adotado classifica os elementos de acordo com a urgência da intervenção: (i) verde, quando a manutenção está dentro do cronograma; (ii) amarelo, para elementos com um período restante entre 10 e 0 dias; e (iii) vermelho, quando o prazo de manutenção expirou, indicando status de atraso. Essa ferramenta de filtragem fornece suporte à tomada de decisão em tempo real, otimizando a priorização de ações corretivas e preventivas. A Figura 18 mostra a aplicação desses filtros visuais no ambiente do modelo.

Figura 18 - Filtros visuais no modelo F2SM por status.

Visibilidade/Sobreposição de gráficos para 3D - Maintenance

Categorias de modelo Categorias de anotação Categorias de modelo analítico Categorias importadas **Filtros** Vinculos do Revit

Nome	Ativar filtro	Visibilidade	Projeção/Superfície		
			Linhas	Padrões	Transparência
Overdue Task	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			Sobrepor...
Task in Days	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
Attention – Upcoming Task	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			

Regras de filtro

Tarefa Atrasada

OU (qualquer regra pode ser verdadeira)

Proteção contra incêndio	Dias para a próxima tarefa 01	é menor...	0	
Proteção contra incêndio	Dias para a próxima tarefa 02	é menor...	0	
Proteção contra incêndio	Dias para a próxima tarefa 03	é menor...	0	

Adicionar regra Adicionar conjunto

Regras de filtro

Tarefa em dias

E (todas as regras devem ser verdadeiras)

Proteção contra incêndio	Dias para a próxima tarefa 01	é maior do...	10	
Proteção contra incêndio	Dias para a próxima tarefa 02	é maior do...	10	
Proteção contra incêndio	Dias para a próxima tarefa 03	é maior do...	10	

Adicionar regra Adicionar conjunto

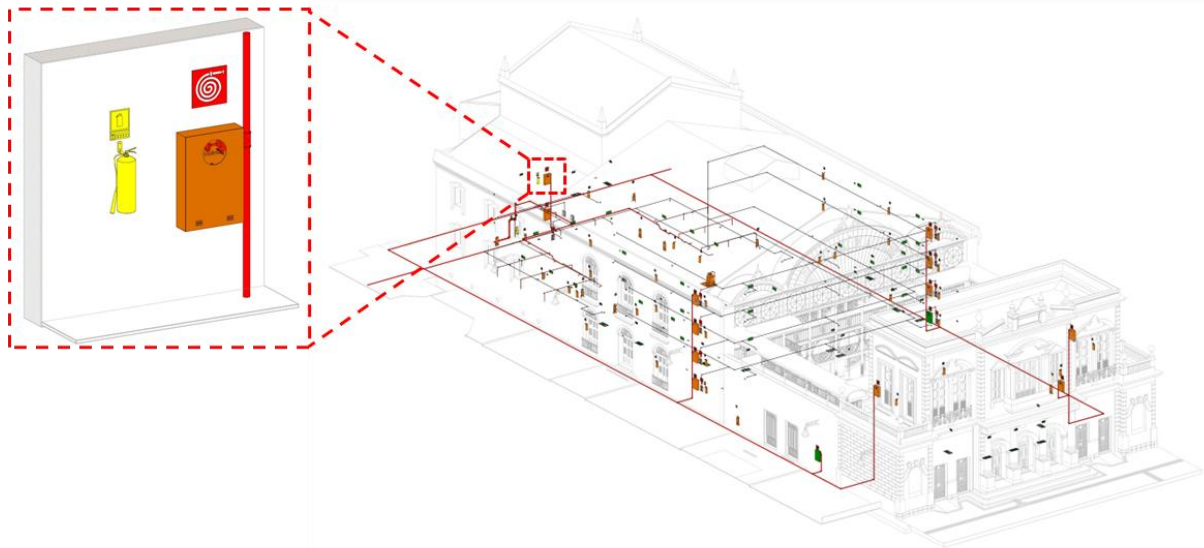
Regras de filtro

Atenção – Próxima Tarefa

OU (qualquer regra pode ser verdadeira)

Proteção contra incêndio	Dias para a próxima tarefa 01	é menor d...	10	
Proteção contra incêndio	Dias para a próxima tarefa 02	é menor d...	10	
Proteção contra incêndio	Dias para a próxima tarefa 03	é menor d...	10	

Adicionar regra Adicionar conjunto



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 19 ilustra a aplicação do monitoramento visual no modelo F2SM, utilizando um extintor e um hidrante como exemplos. As Figura 19a e Figura 19b apresentam a paleta de propriedades e os parâmetros de instância atribuídos ao extintor de incêndio genérico e ao hidrante externo, respectivamente. Esses parâmetros incluem o código do elemento, localização, datas de instalação, descrições de tarefas, periodicidade e histórico de manutenção, tanto concluída quanto programada. Na Figura 19c, os elementos são exibidos sem a aplicação de filtros gráficos, enquanto a Figura 19d mostra os mesmos componentes com os filtros de cor ativados (Figura 19e).

A inclusão sistemática desses parâmetros e a implementação de indicadores visuais de status são essenciais para estabelecer uma cultura preventiva na Gestão de Instalações, permitindo a transição da manutenção reativa para a proativa. Como observado por (Palha; Hüttl; Da Costa e Silva, 2024), a integração de dados do ciclo de vida no ambiente BIM facilita a gestão rigorosa de prazos por meio de modelagem preditiva, o que auxilia os gestores a prever com precisão as necessidades de manutenção e a planejar intervenções de forma deliberada. Essa abordagem garante que o fluxo de trabalho da informação dê suporte a tomadas de decisão acionáveis, otimizando a eficiência operacional e preservando a integridade do ativo ao longo do tempo.

Embora (Durdyev et al., 2022) identifique a complexidade técnica e a carência de diretrizes estruturadas como os principais inibidores da adoção do BIM-FM, este estudo abordou a barreira da complexidade de interface ao mitigar o lixo digital e integrar automações acessíveis via Excel e Dynamo. Essa estratégia serviu como uma ponte de interoperabilidade, superando a fragmentação organizacional e a resistência cultural ao utilizar ferramentas familiares às equipes de Gestão de Instalações. Além disso, o sistema customizado alinha-se ao conceito de “Percepção de Facilidade de Uso” do Modelo de Aceitação de Tecnologia (*Technology Acceptance Model – TAM*), discutido por (Ba et al., 2023). Ao priorizar interfaces amigáveis, essa metodologia reduz significativamente as barreiras técnicas de entrada, diminuindo a resistência às transformações digitais. Ademais, o alinhamento dos parâmetros do sistema com as necessidades culturais e de conservação específicas do teatro histórico garante que a ferramenta seja percebida como um facilitador relevante das tarefas diárias, fomentando o engajamento da equipe de gestão.

Figura 19 - Aplicação do monitoramento visual no ambiente do modelo F2SM: (a) paleta de propriedades com parâmetros de manutenção do extintor de incêndio, (b) paleta de propriedades com parâmetros de manutenção do hidrante, (c) equipamento sem filtros de visibilidade, (d) equipamento com filtros de visibilidade e (e) cores do status da tarefa.

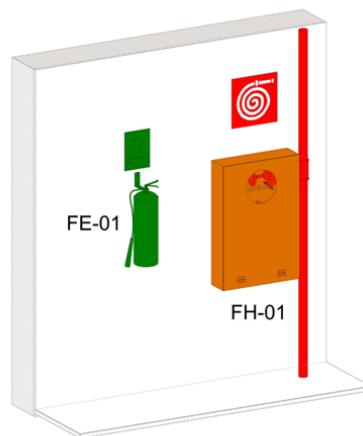
Propriedades		Propriedades	
Equipamento - ECIA-E005-1 - Extintor geral Extintor na parede - Carga de Pó Químico - 12Kg 40-BC		HIDRANTE EXTERNO 60 x 90 x 17 Hidrante simples 60x90x17 - 2x15m	
Proteção contra incêndio (1) Editar tipo		Proteção contra incêndio (1) Editar tipo	
Parâmetros IFC		Parâmetros IFC	
Dados		Dados	
Element ID / code	FE-01	Element ID / code	FH-01
Local	Circulation - Stage	Installation Date	6/5/2015 12:00:00 AM
Installation Date	10/1/2024 12:00:00 AM	Local	Circulation - Stage
Task 01	Cleaning	Task 01	Cleaning
Task 02	Inspection	Task 02	Inspection
Task 03	Intervention	Task 03	Intervention
Task 01 Description	Higienization	Task 01 Description	Higienization
Task 02 Description	Level 1 & 2 Analysis	Task 02 Description	Level 1 & 2 Analysis
Task 03 Description	Extinguisher recharge	Task 03 Description	Hose change
Periodicity of Task 01	60	Periodicity of Task 01	60
Periodicity of Task 02	365	Periodicity of Task 02	180
Periodicity of Task 03	1825	Periodicity of Task 03	1800
Task 01 last date	3/8/2025 12:00:00 AM	Task 01 last date	2/9/2025 12:00:00 AM
Task 02 last date	10/1/2024 12:00:00 AM	Task 02 last date	2/5/2025 12:00:00 AM
Task 03 last date	10/1/2024 12:00:00 AM	Task 03 last date	3/12/2020 12:00:00 AM
Task 01 next date	5/7/2025 12:00:00 AM	Task 01 next date	4/10/2025 12:00:00 AM
Task 03 next date	9/30/2029 12:00:00 AM	Task 02 next date	8/4/2025 12:00:00 AM
Task 02 next date	10/1/2025 12:00:00 AM	Task 03 next date	2/14/2025 12:00:00 AM
Days for next task 01	29	Days for next task 01	10
Days for next task 02	176	Days for next task 02	126
Days for next task 03	1636	Days for next task 03	-45

(a)

(b)



(c)



(d)

Status da tarefa		
Tarefa atrasada	Igual ou inferior a zero dias	
Tarefa em dias	Mais de 10 dias restantes para a próxima tarefa	
Atenção – Próxima tarefa	Dias restantes para a tarefa – Entre 1 e 10 dias	

(e)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Visando otimizar o processo de inspeção e o monitoramento da manutenção, QR *codes* foram implementados nos componentes físicos da edificação (Figura 20). Esses códigos

direcionam os usuários a uma planilha de controle online que contém dados relativos à manutenção, tais como especificações do fabricante, datas agendadas para as próximas tarefas, status da manutenção em tempo real e um histórico completo de intervenções anteriores.

Figura 20 - Ficha de controle do extintor de incêndio FE-01 com código QR para acesso à ficha de manutenção.

FICHA DE ACOMPANHAMENTO DE EQUIPAMENTO

ID DO ELEMENTO DESCRICÃO: FE-01
Equipamento - ECIA-E005-1 - Extintor geral: Extintor na parede - Carga de Pó Químico - 12Kg 40-BC

LOCAL: Circulação - Estágio



Tarefas	Última data das tarefas	Dias para a próxima tarefa
Limpeza	03/08/2025	28
Inspeção	10/01/2024	175
Intervenção	10/02/2024	1636

HISTÓRICO DO EQUIPAMENTO

Tarefas	Descrição	Datas
Limpeza	Higienização	02/08/2024
Limpeza	Limpeza profunda	02/08/2022
Limpeza	Higienização	02/08/2024

FE-01



Acesse este QR-Code para visualizar a ficha de manutenção deste equipamento

Fonte: Elaborado pelo autor.

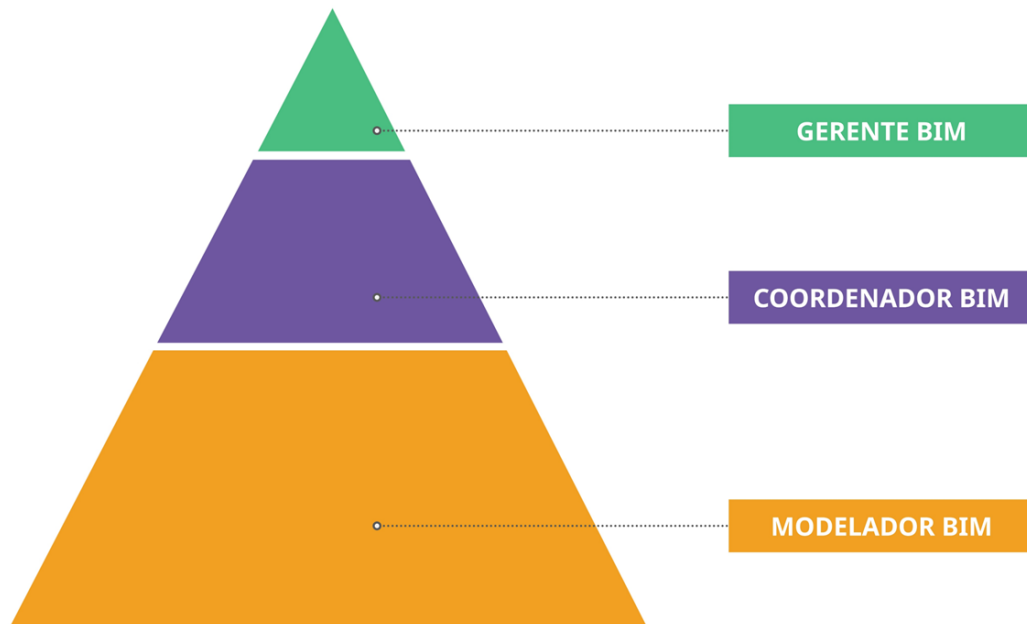
A integração de parâmetros de manutenção e indicadores visuais de status alinha-se ao framework proposto por (Kamal; Taghaddos; Metvaei, 2022), que enfatiza o uso do BIM para otimizar fluxos de trabalho de reparo e manutenção (R&M). Enquanto Kamal utiliza algoritmos de otimização para ambientes hospitalares, o sistema customizado de filtragem por cores e QR codes desenvolvido para o teatro histórico fornece suporte à tomada de decisão em tempo real de forma semelhante. Essa abordagem aborda o desafio crítico da acessibilidade à informação em campo, explicitando os benefícios das aplicações de Realidade Aumentada na redução do tempo de inatividade e dos custos operacionais, ao garantir que os técnicos tenham acesso imediato aos dados do ciclo de vida do ativo. Ao fornecer o suporte necessário para que os técnicos executem tarefas de manutenção com confiança e ao oferecer confirmação visual imediata do status da tarefa, o sistema reforça a adoção a longo prazo do novo fluxo de trabalho digital e pode subsidiar a cultura de gestão de mudanças (Ba et al., 2023).

3.3.7 *Protocolo em BPMN*

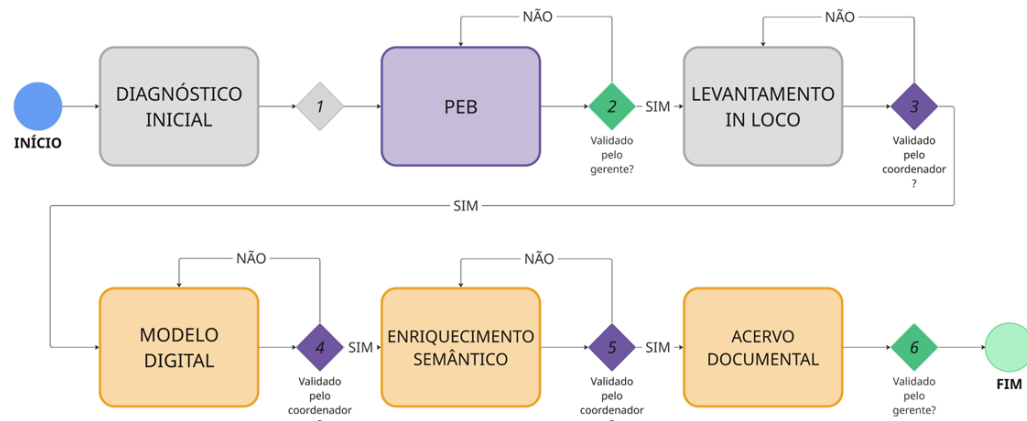
Para garantir a formalização e a reprodutibilidade do método adotado, desenvolveu-se um protocolo de manutenção de ativos utilizando o padrão BPMN. A adoção dessa linguagem padronizada permite a representação precisa dos fluxos de trabalho operacionais associados às atividades de manutenção, promovendo procedimentos padronizados, reduzindo ambiguidades e aprimorando a comunicação entre as diversas partes interessadas envolvidas no processo. A definição de protocolos contribui para reduzir o impacto do BIM no desempenho de tempo e na relação custo-benefício (Brumana et al., 2018), estruturando o processo de forma a otimizar as etapas.

O protocolo considerou inicialmente a definição da estrutura organizacional responsável pelas etapas de modelagem, análise e gestão, representada por uma pirâmide hierárquica (Figura 21a) que estabelece papéis e responsabilidades. Dentro desse arranjo, o Gerente BIM supervisiona a coordenação estratégica do processo, fiscaliza o PEB e garante sua adesão às diretrizes metodológicas (verde). O Coordenador BIM é responsável por verificar a conformidade técnica e garantir que o modelo atenda aos requisitos de qualidade (roxo). A equipe de modelagem BIM supervisiona o desenvolvimento e a atualização do modelo digital de acordo com os requisitos de informação previamente estabelecidos (laranja). Além desses papéis, o protocolo inclui uma quarta categoria operacional (cinza), destinada a atividades realizadas por equipes externas à hierarquia central, como ocorreu neste estudo com os procedimentos de diagnóstico inicial e o levantamento em campo realizado por uma equipe de campo especializada.

Figura 21 - Fluxo de trabalho: (a) matriz de hierarquia e (b) protocolo de manutenção.



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelo autor.

O protocolo de manutenção (Figura 21b) consolida e integra o fluxo de trabalho completo das ações previstas nas fases metodológicas, organizando-o em seis etapas operacionais distintas. O processo inicia-se com a etapa de diagnóstico inicial, cujo objetivo é realizar a análise documental e identificar necessidades críticas. A segunda etapa corresponde à elaboração do PEB pelo coordenador BIM, na qual é definida toda a estratégia de implementação da metodologia BIM no modelo, incluindo objetivos e usos pretendidos. Essa etapa é submetida a um processo de validação realizado pelo gerente BIM. Caso sejam

identificadas inconsistências, o PEB deve ser revisado e submetido para um novo ciclo de validação. Após a aprovação, o processo avança para a terceira etapa. A fase subsequente consiste no levantamento em campo, que coleta e valida dados geométricos e semânticos. Essa etapa também está sujeita a validação, desta vez sob a responsabilidade do coordenador BIM.

O Algoritmo 2 (Figura 22) fornece uma interpretação alternativa das etapas iniciais do protocolo de manutenção ilustrado na Figura 21b. Essa representação formaliza a fase de planejamento e aquisição de dados, estruturando o fluxo lógico desde o diagnóstico inicial e a definição dos requisitos do PEB até a execução do levantamento de campo. A tradução desse processo da notação BPMN para a linguagem algorítmica, abordagem já adotada em estudos anteriores (Palha; Hüttli; Da Costa e Silva, 2024b), permite a formalização do protocolo nesse tipo de linguagem, ampliando, assim, as possibilidades para sua aplicação computacional.

Figura 22 - Algoritmo 2.

```

1: Input: Initial Documents (Diagnostics, Standards, Reports)
2: Output: Execution Plan (BEP) and Field Survey Data
3:
4: // Step 1: Understand the current scenario
5: General_Analysis ← CheckExistingProjects()
6: Interviews ← TalkToMaintenanceTeam()
7: Virtual_Analysis ← CheckPointClouds()
8:
9: // Step 2: Define BIM Execution Plan (BEP)
10: Approved_By_Manager ← No
11: while Approved_By_Manager is No do
12:   IdentifyObject()
13:   Define_Requirements(Organization, Assets, Exchange_Info)
14:   BEP_Document ← CompilePlan()
15:
16:   if ManagerApproves(BEP_Document) then
17:     Approved_By_Manager ← Yes
18:   else
19:     AdjustRequirements() // Return to adjust the plan
20:   end if
21: end while
22:
23: // Step 3: Perform In-LoCo Survey
24: Approved_By_Coordinator ← No
25: while Approved_By_Coordinator is No do
26:   Define_Survey_Scope(Systems, Elements)
27:   Collect_Data_In_Loco()
28:   Base_File ← TransferDataToDigital()
29:
30:   if CoordinatorApproves(Base_File) then
31:     Approved_By_Coordinator ← Yes
32:   else
33:     RedoDataCollection()
34:   end if
35: end while
36:
37: return BEP_Document, Base_File

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

As três últimas etapas são realizadas pelo modelador BIM e estão, da mesma forma, sujeitas a procedimentos de validação. A quarta etapa corresponde ao desenvolvimento do modelo digital e caracteriza-se como uma fase operacional, na qual o modelo geométrico do sistema é produzido e, posteriormente, validado pelo coordenador BIM. Após a aprovação, a quinta etapa consiste no enriquecimento semântico, que envolve a inserção e organização de informações não geométricas no modelo. Ao final dessa etapa, o modelo é novamente submetido à validação pelo coordenador BIM. Uma vez concluída essa validação, a etapa final é a consolidação do acervo documental, durante a qual toda a documentação técnica é produzida, incluindo desenhos e planilhas de levantamento de quantitativos. Essa etapa é validada pelo gerente BIM, concluindo, assim, o processo.

A Figura 23 apresenta, em linguagem algorítmica, o processo correspondente às três etapas finais do protocolo ilustrado na Figura 21b. Essa representação descreve a fase de execução técnica e documentação, detalhando o desenvolvimento do modelo digital, seu enriquecimento semântico com dados de manutenção e a geração do conjunto final de arquivos documentais. O fluxo de trabalho estabelece que a progressão em cada sub etapa é condicionada à aprovação pela equipe de coordenação e gestão. Ao adotar uma linguagem algorítmica mais neutra, o processo torna-se adequado para implementação em diferentes ambientes computacionais, permitindo sua replicação e adaptação em diversos softwares e plataformas de programação.

Figura 23 - Algoritmo 3.

```

Input: Phase 01 Data and References (Models, Manuals)
Output: Complete Final Documentation

// Step 4: Create the 3D Digital Model
Approved.By.Coordinator ← False
while Approved.By.Coordinator is False do
  PrepareEnvironment(Template, PointCloud)
  3D.Model ← ModelSystem()
  CreateSpecificFamilies(BIM)

  if CoordinatorApproves(3D.Model) then
    Approved.By.Coordinator ← True
  else
    CorrectModeling()
  end if
end while

// Step 5: Enrich the Model with Information (Semantics)
Validated.Data ← False
while Validated.Data is False do
  Maintenance.Information ← Read(Manuals, Programs, Standards)
  Complete.Model ← InsertDataIntoModel(Maintenance.Information)

  if CoordinatorApproves(Complete.Model) then
    Validated.Data ← True
  else
    CorrectInsertedInformation()
  end if
end while

// Step 6: Generate Final Documents
Approved.By.Manager ← False
while Approved.By.Manager is False do
  Schedules ← GenerateQuantities(Complete.Model)
  Drawings ← GenerateTechnicalDrawings(Complete.Model)
  Final.Files ← GeneratePDFs(Schedules, Drawings)

  if ManagerApproves(Final.Files) then
    Approved.By.Manager ← True
  else
    ReviewDocuments()
  end if
end while

return END

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

A formalização de processos por meio de diagramas BPMN serve como o “roteiro” estruturado proposto por (Ba et al., 2023) para minimizar a incerteza operacional. Ao definir claramente papéis e responsabilidades dentro do ambiente BIM, essa abordagem garante que a transição digital permaneça transparente e gerenciável para todas as partes interessadas envolvidas na gestão do ciclo de vida do ativo.

3.4 Comentários finais

Este trabalho apresentou uma abordagem integrada para a gestão da proteção contra incêndio em patrimônio edificado, potencializando a colaboração entre BIM e *Facility Management*. As principais conclusões extraídas desta investigação são sintetizadas a seguir.

O diagnóstico inicial e o levantamento *in loco* revelaram a fragilidade estrutural da base documental existente, caracterizada por fragmentação informacional, obsolescência e predominância de práticas corretivas. Isso confirmou a necessidade de estratégias *as-is* como

etapa fundamental para garantir a confiabilidade geométrica e semântica do modelo, condição diretamente associada à eficácia do planejamento e das atividades de execução da manutenção.

A estruturação do PEB garantiu a coerência informacional do sistema proposto. A definição dos requisitos (OIR, AIR, EIR) alinha-se aos objetivos estratégicos, às necessidades operacionais e ao LOIN exigido ao longo do ciclo de vida do ativo. Essa abordagem contribui para a confiabilidade dos dados, a rastreabilidade das decisões e a redução de inconsistências informacionais. Garante-se, assim, que o Sistema de Proteção Contra Incêndio, crítico para a integridade física de bens culturais insubstituíveis, permaneça funcional e rastreável por um tempo de vida indeterminado. Adicionalmente, o ND escolhido prioriza a informação semântica em detrimento da complexidade visual, assegurando que os dados funcionais permaneçam como o principal condutor.

A simplificação do modelo arquitetônico constituiu uma contribuição técnica significativa, resultando em reduções superiores a 90% tanto no número de elementos quanto no tamanho do arquivo, sem comprometer os requisitos de informação das atividades de manutenção. Este resultado confirma que abordagens de modelagem enxuta são fundamentais para mitigar o lixo digital, otimizar o desempenho computacional e estruturar ambientes de informação mais alinhados às demandas operacionais reais.

Ao focar em dados essenciais de Gestão de Instalações, a metodologia desenvolvida simplifica o processo de modelagem, minimiza o esforço e os custos tipicamente associados a esta fase e apoia a implementação de um sistema enxuto e eficaz. A proposta torna-se mais viável ao integrar planilhas de gestão de manutenção aos modelos BIM por meio de fluxos de trabalho automatizados via Dynamo®, permitindo um fluxo de trabalho mais ágil e preciso para operações e manutenção, inclusive em instalações históricas como o Teatro José de Alencar.

Além disso, a adoção de formulários padronizados em Excel preserva a familiaridade dos gestores de instalações com os processos atuais de gestão de dados, garantindo a adesão ao sistema e reduzindo a dependência de conhecimentos especializados. A implementação de alertas visuais codificados por cores no modelo BIM permitiu a identificação rápida e intuitiva do status das tarefas de manutenção, possibilitando a priorização de intervenções e a redução de riscos operacionais. Esta abordagem não apenas agilizou a tomada de decisão, mas também aumentou a eficácia da manutenção preventiva, garantindo que as ações necessárias fossem realizadas dentro dos cronogramas planejados.

A integração de *links* visuais no local dá suporte às ordens de serviço, minimizando erros e o tempo necessário para acessar dados críticos e relevantes dos equipamentos. Além

disso, permitir o acesso indireto ao banco de dados amplia as oportunidades de verificação e atualização contínua de dados. Essa estratégia apoia a integração de ferramentas de compartilhamento de conhecimento, como o *feedback* das partes interessadas, e pode auxiliar procedimentos de auditoria. Como uma solução baseada na web, isso representa um passo inicial para o desenvolvimento de um sistema totalmente online e remoto, desde que as questões de interoperabilidade sejam investigadas minuciosamente.

Diante disso, o sistema proposto baseia-se em soluções de *software* de mercado que, apesar dos esforços contínuos para aprimorar a interoperabilidade, ainda enfrentam desafios de comunicação com sistemas legados de CMMS. Embora os gestores frequentemente prefiram ferramentas de Office por sua acessibilidade e facilidade de uso, isso pode levar a falhas de comunicação e problemas na atualização de dados. Embora tais soluções possam representar riscos à confiabilidade do sistema, sua implementação em um ambiente de Gestão de Instalações desprovido de suporte computacional prévio marca um marco importante no processo de transformação digital. Nesse contexto, é essencial que a equipe de gestão possa se adaptar facilmente ao sistema e encontrar soluções práticas para os problemas relatados, garantindo a manutenção adequada dos ativos e o uso eficaz das ferramentas de suporte.

Apesar dos desafios, encoraja-se a adoção de sistemas flexíveis, abertos e confiáveis, particularmente aqueles desenvolvidos de acordo com plataformas que suportam os padrões COBie e IFC e estruturados em bancos de dados abertos. Contudo, tal adoção deve prosseguir apenas quando a equipe de Gestão de Instalações atingir um nível de maturidade suficiente para corresponder à complexidade do sistema e aos requisitos operacionais da gestão de ativos.

Sob a perspectiva organizacional, a formalização de um protocolo de manutenção estruturado por meio do BPMN representou um avanço significativo na padronização, rastreabilidade e reprodutibilidade das rotinas operacionais. A definição explícita de papéis, responsabilidades e fluxos de tomada de decisão, incluindo as funções do gerente BIM, coordenador BIM, equipe de modelagem e equipes externas, fortaleceu a governança do processo e reduziu ambiguidades na execução das atividades de manutenção. A segmentação do protocolo em duas fases complementares destacou ainda mais a importância do planejamento prévio da informação e da validação contínua dos dados ao longo de todo o processo de execução técnica.

Ao integrar o BIM aos sistemas CAFM, este estudo fornece novas perspectivas sobre seu papel como plataforma de dados dinâmica, ferramenta de análise visual e mecanismo

para manter históricos detalhados de ativos. As mudanças possibilitadas melhorarão não apenas a produtividade e o desempenho da manutenção, mas também a integridade do ativo ao longo de seu ciclo de vida. Tais resultados têm um impacto ainda maior em edifícios históricos, visto que seus tempos de vida são indeterminados.

4 ESTRUTURAÇÃO DE DADOS E ANÁLISE SISTÊMICA DE FALHAS NA GESTÃO DE ATIVOS DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: APLICAÇÃO À MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE DETECÇÃO E DE SUPRESSÃO DE INCÊNDIO

4.1 Introdução

Informações dos ativos das construções apropriados e confiáveis — tais como localização, especificações, garantias e cronogramas de manutenção — estruturadas de forma adequada, são essenciais para apoiar tomadas de decisão eficazes durante a fase de operação e gestão (Nicał; Wodyński, 2016). Neste contexto, uma base de dados comum é necessária para coletar e armazenar todas as informações requeridas ao longo das diferentes etapas de arquitetura, engenharia e construção (AEC) e operação e manutenção (O&M) (Spilling, 2016). A Modelagem da Informação da Construção (BIM) é definida como uma representação digital compartilhada fundamentada em padrões abertos para interoperabilidade (National Institute of Building Sciences, 2017). O BIM pode permitir que informações de todas as fases do projeto sejam armazenadas em um único modelo digital (Love et al., 2015).

Entretanto algumas restrições são observadas na sua integração, como nos processos de Gestão de Instalações com informações fragmentadas, inadequações no gerenciamento das edificações, obstáculos na obtenção precisa e atualizada de dados (Tsay; Staub-French; Poirier, 2022), e a lenta emissão de ordens de serviços (Gao; Pishdad-Bozorgi, 2019). Outros desafios são relacionados com os processos de trabalho e estrutura da organização (Liu; Issa, 2013), a ausência de papéis claros e responsabilidades na equipe organizacional (Kassem *et al.*, 2015b) e a troca de informações indireta entre o modelo BIM e o sistema de Gestão de Instalações (Matarneh et al., 2019b).

Contudo, o BIM continua sendo uma tecnologia transformadora na área do gerenciamento de instalações a partir de novas metodologias e processos (Peng; Au-Yong; Myeda, 2024; Salzano et al., 2023). O modelo BIM funciona como um recurso de conhecimento compartilhado, formando uma base confiável para tomadas de decisão durante o ciclo de vida da instalação (Farghaly et al., 2018). As informações necessárias para a gestão de ativos (Asset Management - AM) devem ser extraídas do modelo e vinculadas a um banco de dados pertinente, que armazene todas as informações relacionadas ao ativo construído para formar um Modelo de Informação do Ativo (*Asset Information Model* - AIM) (Kivits; Furneaux, 2013). O AIM é um conjunto de contêineres de informação, estruturados e não estruturados, relacionado

à fase operacional, que é a parte do ciclo de vida da edificação (ABNT NBR ISO 19650-1, 2022), e este processo fornece a base fundamental para a melhoria da sua gestão.

Trabalhos como o de (Harode; Ensafi; Thabet, 2022), introduzem uma abordagem baseada na definição de documentação e requisitos e procedimentos para o chamado modelo BIM *as-built* centrado em sistemas. O modelo com classificação de sistemas prediais multinível, e propriedades definidas, permite a equipe de manutenção visualizar isoladamente componentes e suas informações dos sistemas mecânicos e hidráulicos em situações emergenciais. A implementação de uma plataforma BIM-FM foi aplicada em um aeroporto internacional (Kula; Ergen, 2021). O objetivo do estudo foi apresentar as potencialidades do BIM aplicado ao FM, em uma construção de grande escala, mostrando os desafios e lições aprendidas na perspectiva da equipe de trabalho no período de 4 anos de uso da plataforma. Os resultados foram aprendizados qualitativos observados ao longo da utilização e manutenção da ferramenta de gestão de manutenção.

Para mitigar os danos causados por incêndios em edificações, é importante atividades proativas de gestão, prevenção e resposta. Nas etapas que antecedem as ações em resposta a um incidente, a inspeção e a fiscalização de elementos da instalação — como sistemas de sprinklers e alarme — são componentes fundamentais para uma gestão de instalações eficaz (Bae; Cha; Jiang, 2025). A integração efetiva entre modelos BIM e plataformas de gestão de ativos enfrenta, como principal barreira, a interoperabilidade semântica de Nível 3. Conforme apontado por Pärn; Edwards; Sing, (2017), a adoção do BIM na fase de operação é frequentemente dificultada pela complexidade intrínseca das informações e por taxonomias de difícil aplicação prática.

Diante disso, este trabalho propõe uma estruturação simplificada em quatro níveis, utilizando o ambiente SQL para converter essa complexidade em um fluxo de dados digerível e funcional para a gestão do sistema de incêndio. O objetivo desse é desenvolver um modelo customizado da informação do ativo dos sistemas de instalações de detecção de fumaça, e proteção a incêndio, para gestão de manutenção. O modelo é configurado para prover a informação de manutenção necessária em operações críticas, solucionar desafios operacionais, visando a segurança e eficiência. O estudo de caso é realizado nas instalações localizadas no subsolo do Teatro José de Alencar, um dos mais importantes equipamentos culturais do Estado do Ceará- Brasil.

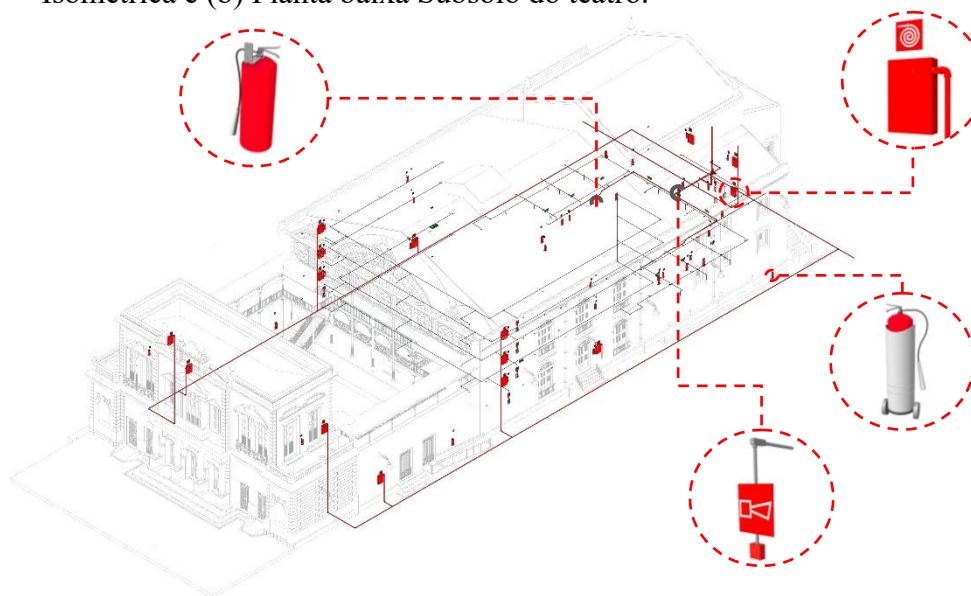
4.2 Metodologia

A estratégia metodológica fundamenta-se em um estudo de caso aplicado, estruturado para integrar o levantamento documental, o diagnóstico técnico *in loco* e a modelagem *as-is* ao enriquecimento semântico e à criação de vistas operacionais e emergenciais. Inicialmente, delimitou-se o escopo do Sistema de Proteção Contra Incêndio do Teatro José de Alencar, selecionando-se uma seção da edificação que apresenta elevado nível de complexidade arquitetônica e sistêmica. Esta delimitação permitiu focar na transição de um modelo puramente geométrico para um Modelo de Informação do Ativo (AIM) focado na gestão de riscos e eficiência operacional.

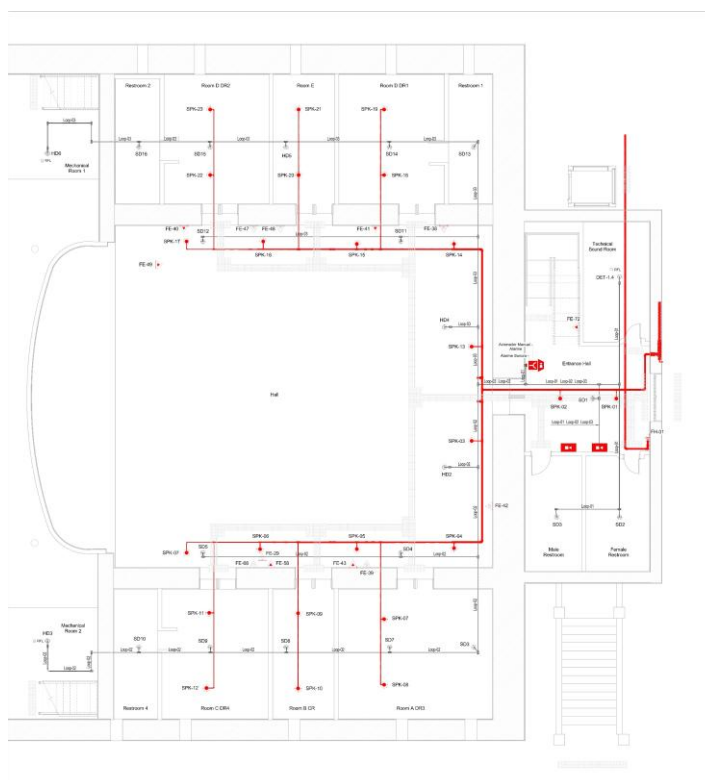
O escopo abrangeu a totalidade dos subsistemas críticos: a supressão manual (extintores portáteis e sobre rodas); a supressão automática por água (rede de sprinklers, ramais e dispositivos de descarga); o Sistema Hidráulico Preventivo (rede de hidrantes internos/externos e válvulas de seccionamento); e os sistemas de detecção e alarme (detectores térmicos e de fumaça, acionadores manuais e central de supervisão), localizado no subsolo do teatro (Figura 24b). A inclusão dessas variadas tipologias justifica-se pela necessidade de testar a taxonomia funcional em diferentes naturezas de ativos, garantindo que a base de dados suporte a diversidade de metadados exigida em uma edificação cultural de relevância social e artística.

O modelo BIM utilizado, desenvolvido por Bessa et al., (2025) e apresentado na Figura 24a, possui nível de detalhamento e informação compatível com a fase de Operação e Manutenção (O&M). Durante a modelagem, assegurou-se a representação geométrica precisa e a integridade das informações técnicas de componentes essenciais, desde dispositivos de sinalização audiovisual até a central de supervisão. Esta base geométrica serve como o repositório central para a integração sistêmica, onde os parâmetros nativos funcionam como âncoras para a expansão da inteligência do modelo por meio da conexão com o banco de dados externo.

Figura 24 - Modelo BIM do sistema de proteção contra incêndio: (a) Vista Isométrica e (b) Planta baixa Subsolo do teatro.



(a)



(b)

Fonte: adaptado pelo autor (Bessa et al., 2025).

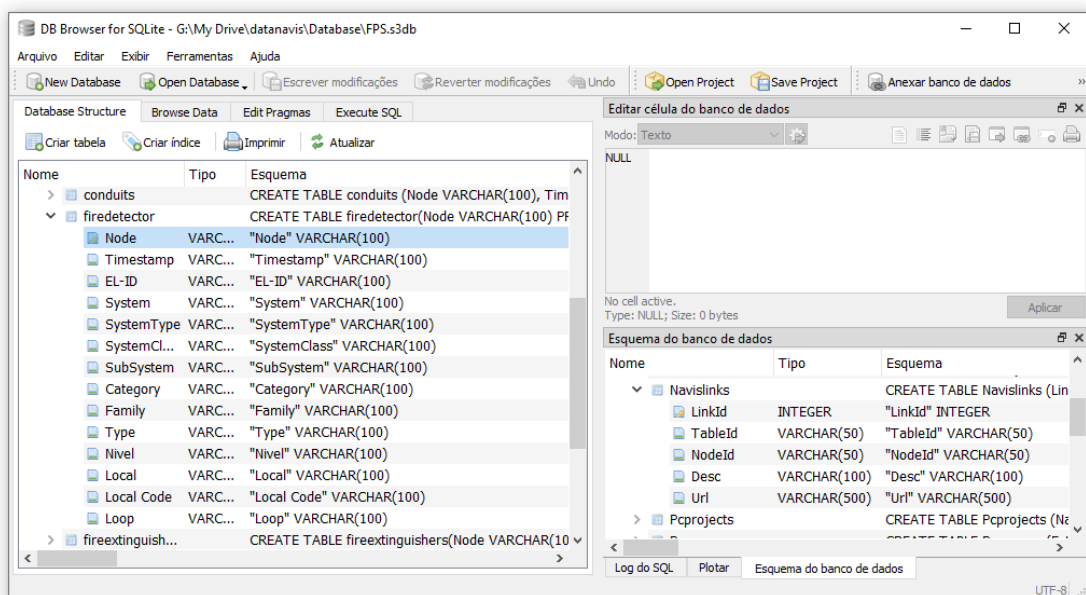
4.2.1 Organização e gestão da base de dados

A implementação de uma base de dados relacional vinculada aos elementos do modelo confere maior flexibilidade e acessibilidade às informações dos sistemas construídos. Esta estratégia viabiliza o gerenciamento da "riqueza semântica" e dos fluxos de dados entre as partes interessadas (*stakeholders*) do projeto por meio de formatos customizáveis. A abordagem promove um compartilhamento seletivo dos dados do ativo, restringindo o acesso apenas às informações requisitadas ou relevantes para cada perfil de usuário. Tal controle contribui diretamente para a segurança da informação e para a eficiência da comunicação protocolar dentro do ciclo de vida da edificação.

A adoção de uma linguagem de banco de dados estruturada (SQL) permite que o sistema encapsule inteligência e dados de ciclo de vida de forma organizada e clara. Esta arquitetura facilita a manipulação e a consulta dos dados, garantindo sua integridade e persistência para além da volatilidade inerente aos arquivos geométricos. Adicionalmente, a associação de uma chave primária exclusiva (GUID) para a atualização dos registros mitiga a ocorrência de erros e acelera significativamente as ações de consulta e processamento de informações.

O arquivo da base (Figura 25) foi construída no formato .s3db no software aberto *DB Browser for SQLite* (DB4S, 2024). A versão 3.0 para SQL foi adotada devido a restrição de entrada no *plugin* DataManager and Reporter (Codemil, 2025).

Figura 25 - Janela de apresentação de estrutura de base de dados no software DB Browser for SQLite da base de dados adotada neste projeto FPS.s3db.



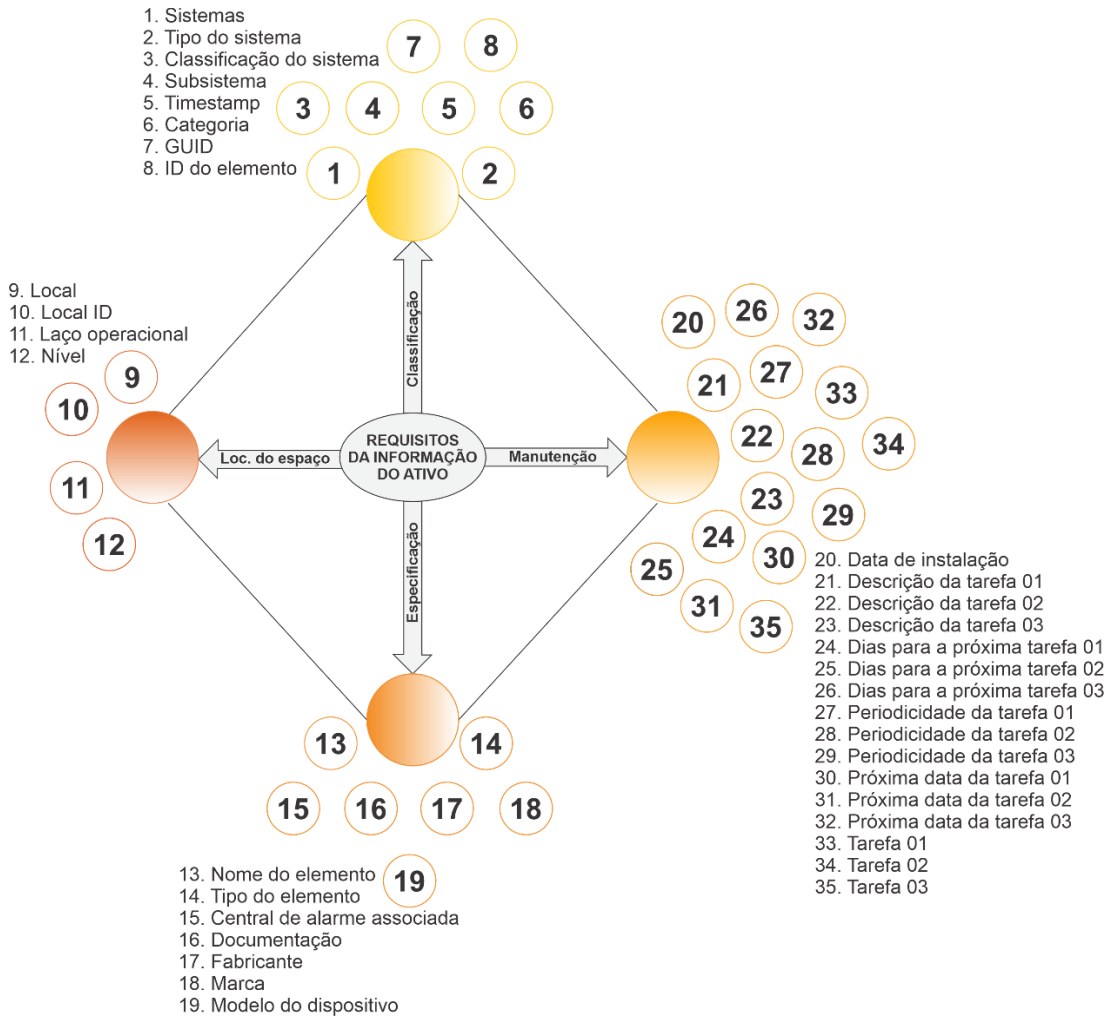
Fonte: Elaborado pelo autor.

identificação única e informações técnicas de garantias e manuais (Farghaly et al., 2018; Mayo; Issa, 2016). Já para o desenvolvimento de uma taxonomia para sistemas críticos, como os de proteção contra incêndio, fundamenta-se na necessidade de prover o gerenciamento de dados que suporte decisões precisas em ambientes de grande concentração de público (e.g. teatros, cinemas).

A estruturação taxonômica dos sistemas de proteção contra incêndio (Figura 27) deste trabalho foi desenvolvida seguindo os preceitos metodológicos de Noy; McGuinness, (2001), que estabelecem um processo iterativo para a criação de ontologias sólidas. Inicialmente, definiu-se o domínio e o escopo da taxonomia, focando na transição de dados geométricos para requisitos não geométricos essenciais à fase de O&M. A hierarquia de classes foi estabelecida em quatro níveis progressivos, indo do sistema macro (*Fire Protection System*) até a especificidade do elemento (*SubSystem Name*), permitindo a separação clara entre o conhecimento de domínio e o operacional.

Complementando a hierarquia de classes, foram definidos os "slots" ou propriedades, que, na metodologia de Noy; McGuinness, (2001), representam os atributos detalhados de cada classe. Para o estudo de caso do ativo cultural, além da hierarquia sistêmica, foram incorporados parâmetros de instância e de tipo, como *Category*, *Family*, *Type*, *Level* e *Loop*. Esses atributos funcionam como metadados que alimentam a base de dados SQL, permitindo a identificação espacial (via *Local Code*) e a vinculação lógica necessária para a simulação de cenários de falha e a mitigação de riscos proativa.

Figura 27 - Taxonomia do Sistema de Proteção Contra Incêndio.

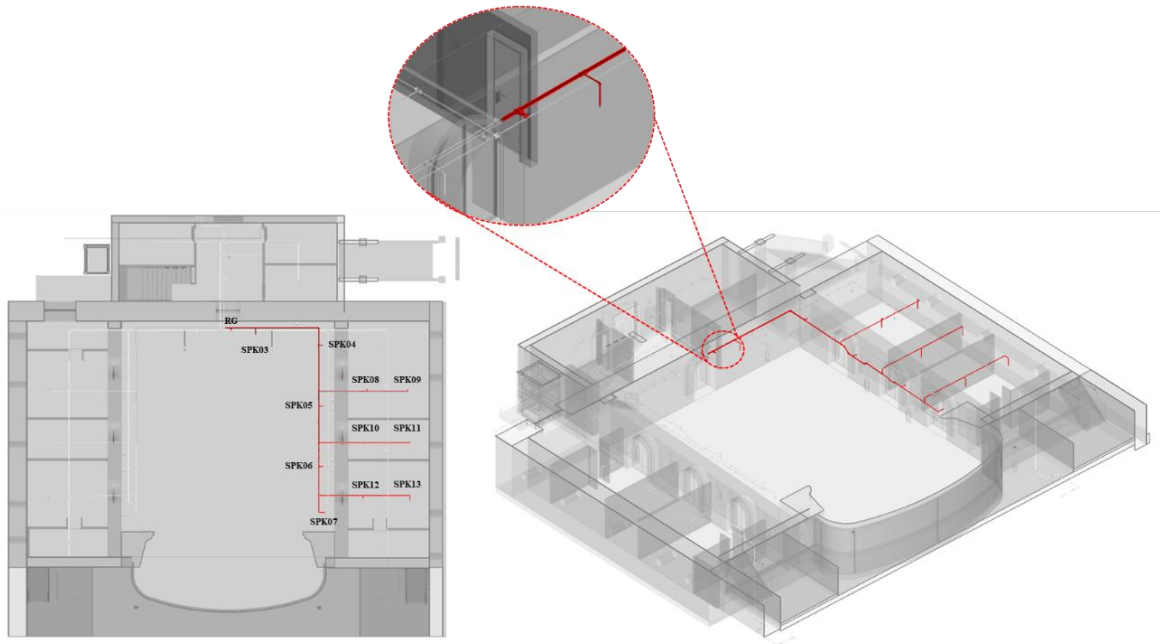


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3 Simulação de cenários

A criação da propriedade laço foi criada para compreender as interdependências nos sistemas de supressão e detecção. Ao definir o parâmetro *LOOP* no SQL, o modelo facilita a visualização do "efeito escala", permitindo, por exemplo, que se identifique quais bicos de sprinkler ou detectores serão desativados caso uma válvula seja isolada para manutenção (Figura 28). Essa abordagem é crucial para a mitigação de riscos, pois permite a realização de análises do tipo "e se?" antes de qualquer intervenção física. Mapear esses laços garante que o sistema de incêndio não seja desligado de forma indiscriminada, realizando ações de prevenção de risco nessas zonas durante o período de paralisação, e mantendo a proteção adequada nas zonas não afetadas pela manutenção.

Figura 28 - Mapeamento do laço operacional (*LOOP 02*) e visualização do efeito escala no sistema de supressão de incêndio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.4 Gestão visual

O modelo desenvolvido possui representação gráfica precisa e abrangente dos componentes e sistemas que compõem a edificação. Para que cumpram seu papel informacional, a geometria, a orientação espacial e as coordenadas tridimensionais dos elementos refletem as condições *as-is*, atendendo aos níveis adequados de desenvolvimento (*Level of Development – LOD*) e de precisão (*Level of Accuracy – LOA*). A correta representação das condições *in situ* permite que equipes de Operação e Manutenção (O&M) localizem, identifiquem e inventariem ativos ao longo de todo o portfólio de edificações, reduzindo incertezas e retrabalhos. Em particular, para elementos ocultos por paredes, forros ou pisos, modelos BIM confiáveis evitam intervenções destrutivas desnecessárias durante manutenções corretivas, reformas ou *retrofits*.

No contexto da construção enxuta, a gestão visual, ou *Mieruka*, constitui um princípio fundamental para tornar informações complexas imediatamente compreensíveis, promovendo decisões rápidas e assertivas (Nguyen, 2015). A aplicação do *Mieruka* busca eliminar ambiguidades e reduzir o esforço cognitivo necessário para interpretar grandes volumes de dados, transformando informações abstratas em representações visuais intuitivas e acionáveis.

Nesse sentido, a gestão visual atua como a interface que converte a complexidade dos dados estruturados em SQL em suporte direto à tomada de decisão por meio do ambiente de coordenação do *Autodesk Navisworks*. A abordagem adotada compreende a preparação prévia do modelo com a criação de *Viewpoints* específicos e cenários configurados, permitindo que as equipes de *Facilities Management* utilizem seus processos cognitivos e perceptivos de forma mais eficiente, especialmente em emergências. O uso de tabelas de status associadas à codificação por cores torna visualmente explícitas as relações ontológicas de dependência e influência entre os elementos do sistema, como a relação “afeta” (*affects*).

A visualização imediata de um laço de detecção ou supressão destacado no modelo, juntamente com a identificação das zonas impactadas por uma falha, possibilita um diagnóstico quase instantâneo da situação. Essa capacidade reduz significativamente o intervalo entre a identificação do problema e a implementação de ações de mitigação, aspecto crítico para a preservação e a operação segura de ativos culturais de elevada complexidade, como edificações históricas e equipamentos públicos de grande porte.

4.3 Resultados

4.3.1 Gestão da base de dados e taxonomia

A estruturação da base de dados permitiu que a semântica do sistema de incêndio fosse preservada independentemente da plataforma de autoria original. Nesta aplicação exemplo, para o sistema de chuveiros aspersores automáticos fora associado 14 parâmetros (Tabela 2). A associação através de uma linguagem direcionada a base de dados contribui com organização e personalização, permitindo que cada categoria – definida pela equipe de gestão – possa receber uma estrutura adequada para o uso a qual se destina.

Entre os parâmetros associados está a chave primária GUID a base de dados do SQL. Isto assegura a riqueza semântica e a persistência da informação defendida por Succar, (2009). Do ponto de vista ontológico, o GUID funciona como o atributo definidor da identidade do "conceito" (o ativo de incêndio), permitindo que a "relação" entre o objeto geométrico no *Navisworks* e os dados não geométricos no SQL seja unívoca e imperecível. Esta estrutura atende aos critérios de clareza e compromisso ontológico, garantindo que cada *sprinkler* ou detector possua uma identidade digital que não se altera mesmo com modificações nas propriedades do modelo.

No que tange ao ajuste de estrutura para a gestão da base, o GUID é configurado no plugin Navistools como a "propriedade chave" (*Key Property*). Essa configuração permite a

criação de um link (Via *DataManager*) que facilita a automatização e sincronização de dados entre a plataforma visual e o banco relacional. Ao estruturar o banco de dados em torno do GUID, elimina-se a redundância e a inconsistência informacional, desafios comuns na entrega de modelos *as-built* para O&M, resultando em um BIM capaz para FM que suporta atualizações contínuas sem a perda do histórico de manutenção ou das interdependências do sistema.

A estruturação do sistema de incêndio em níveis contribui como base ontológica da gestão, permitindo que a transição de um modelo puramente geométrico para um modelo centrado em sistemas. A hierarquização cria mecanismo de significação, transformando componentes isolados em clusters de informação. Esta estrutura taxonômica, permite que as relações de interdependência se tornem explícitas, reduzindo a complexidade cognitiva na gestão do ativo e garantindo que cada elemento contribua para a inteligência sistêmica.

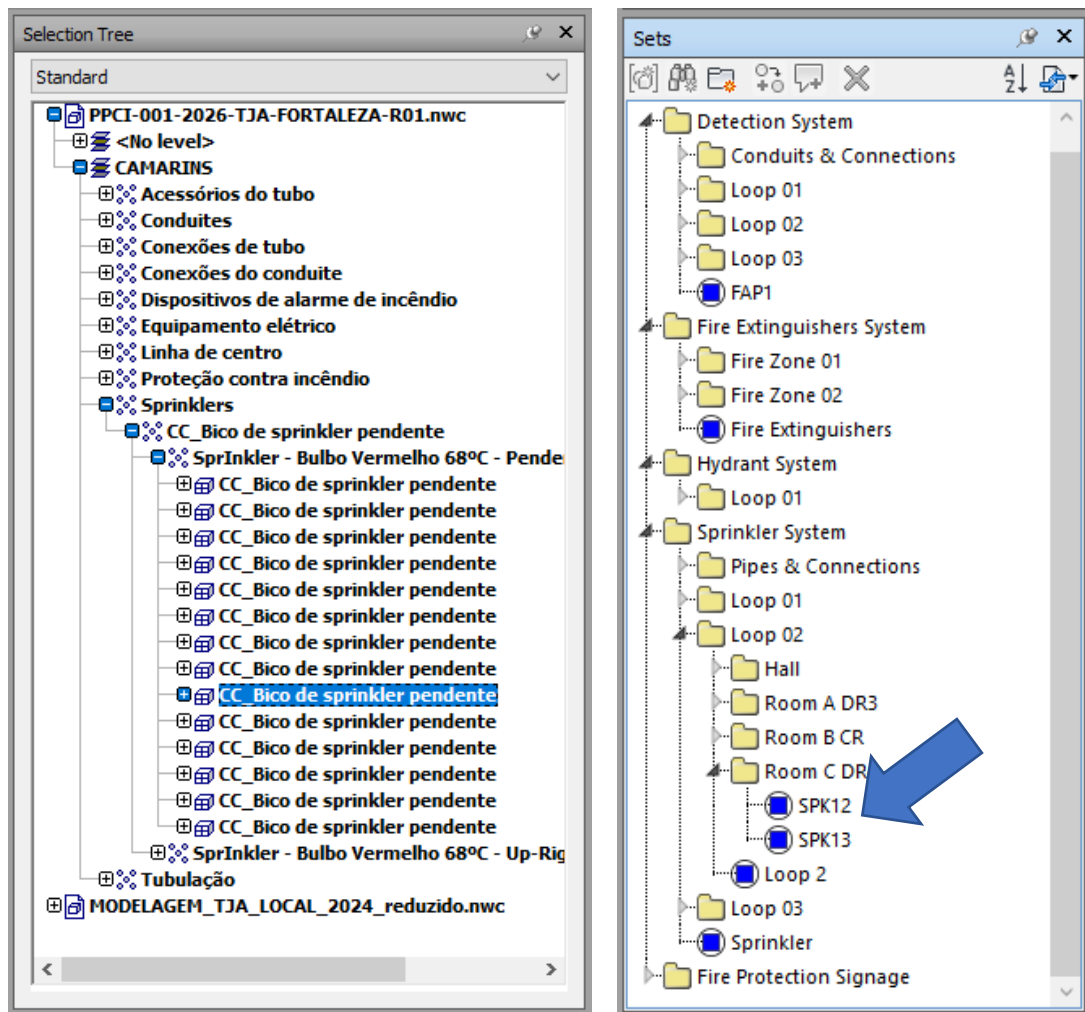
Tabela 2 - Indica os parâmetros, com sua descrição e objetivo, no agrupamento de elementos chuveiros automáticos (Nível 4).

Parâmetro	Descrição	Objetivo
GUID	Identificador Único Global permanente que garante o vínculo bidirecional e a integridade entre a geometria 3D e o banco de dados SQL.	Persistência de Dados
EL-ID	Identificador secundário do ativo, baseado na ID nativa do software de autoria (ex: Revit ID), para rastreabilidade em auditorias.	Identificação
SYSTEM	Nível 1: Define o macro-sistema predial ao qual o ativo pertence (ex: Proteção Contra Incêndio).	Atributos de Sistema
SYSTEMTYPE	Nível 2: Classifica o sistema por sua função principal e agrupamento funcional (ex: Supressão Automática).	Atributos de Sistema
CLASSIF	Nível 3: Detalha a tecnologia ou método de atuação do subsistema (ex: Supressão Hidráulica).	Atributos de Sistema
SYSTEM NAME	Nível 4: Identifica o nome técnico específico do subsistema ou rede (ex: Sistema de Sprinklers).	Atributos de Sistema
Category	Categoria nativa do objeto no ambiente BIM, utilizada para padronização de filtros e agrupamentos automáticos.	Atributos de Classe
Family	Identifica o template técnico ou "família" de projeto que define as propriedades gráficas e funcionais do objeto.	Atributos de Classe
Type	Especificação técnica resumida do modelo ou variante do ativo dentro de sua família.	Atributos de Classe
Name	Descrição para identificação rápida do ativo pelas equipes de campo e gestão.	Comunicação
Local	Identificação do pavimento ou área de localização física do ativo dentro da edificação.	Rastreabilidade
Local Code	Código único do ambiente (sala/espço) conforme plano de numeração oficial do projeto.	Rastreabilidade
Loop (Laço)	Agrupamento Lógico: Define o "laço" ou anel operacional ao qual o ativo está conectado, permitindo rastrear dependências e impactos sistêmicos.	Análise de Impacto de Falha
Installation Date	Registro histórico da data de instalação para controle de garantias, vida útil e depreciação técnica.	Gestão de Ciclo de Vida
Days next task	Parâmetro preditivo que calcula o prazo restante para a próxima manutenção preventiva, mitigando riscos de falha operacional.	Mitigação de Riscos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na prática, isso permite navegar do geral (Sistema de Proteção Contra Incêndio) para o específico (Detecção por Fumaça). Isso cria um "entendimento taxonômico" onde o gestor de instalações pode realizar consultas complexas na base de dados SQL, filtrando ativos não por sua forma gráfica, mas por sua classe técnica e funcional. Isso simplifica o processo, ao ponto de que ao invés de gerenciar centenas de dispositivos individuais, o sistema organiza esses ativos em unidades lógicas. Isso simplifica a informação para o operador, onde, por exemplo, em uma emergência no Teatro José de Alencar, não se busca o "elemento 007", mas sim o cluster "Sistema de Detecção - Laço 01". A relação entre os elementos dentro do cluster cria um contexto operacional que facilita a identificação de dependências e o isolamento de falhas. No *Navisworks*, essa clusterização permite a criação de *Selection Sets* inteligentes baseados nos níveis hierárquicos (Figura 29).

Figura 29 - Janela *Selection Tree*, construída com base na lógica do programa nativo origem, e a janela *Sets*, construída pelo operador direcionando para o gerenciamento almejado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

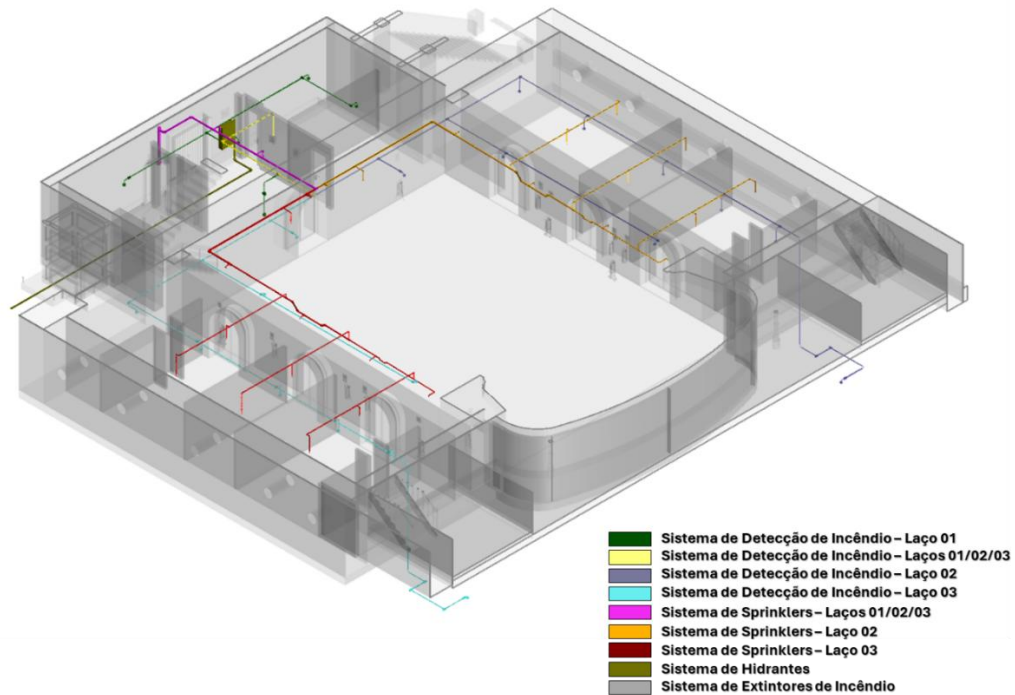
Já o parâmetro '*Loop*' atua como um cluster lógico que traduz a topologia física da rede de incêndio. Isso permite que o sistema identifique não apenas onde o equipamento está, mas a qual 'anel' funcional ele pertence, tornando explícitas as relações de dependência que causam o efeito tipo escala em cenários de manutenção ou falha. Os resultados demonstram uma manipulação de dados mais ágil e segura, onde a consulta a informações técnicas não exige mais o acesso a manuais físicos, mas ocorre de forma direta no portal visual do *Navisworks*.

Além do mais, existe uma convergência natural entre o BIM e a Ciência de Dados ao direcionarmos esforços na criação de ecossistema digital com fluxos de dados. Os parâmetros nativos — como categoria, família e *Element-ID* — atuam como âncoras de identidade e o SQL como um meio de expansão, estabelecendo um desacoplamento estratégico entre a geometria e metadados. Esta arquitetura permite o enriquecimento sistêmico do ativo sem comprometer a integridade do modelo original, simplificando a complexidade inerente à sobreposição de dados de manutenção, normas e desempenho. Assim, a gestão da base de dados atua como um algoritmo de organização taxonômica, garantindo que a informação flua de forma estruturada e persistente, transformando a massa de dados brutos em inteligência acionável para o ciclo de vida da edificação.

4.3.2 Simulação de cenários

Nesta seção são apresentados dois cenários de exemplo, desenvolvidos com o objetivo de evidenciar a aplicação prática do modelo BIM centrado em sistemas no suporte às atividades de manutenção em emergências. Para viabilizar a leitura operacional dos resultados, o modelo foi configurado com uma representação gráfica baseada em cores, na qual cada sistema e seus respectivos laços operacionais (*loops*) são diferenciados visualmente, conforme apresentada na Figura 30. Essa configuração permite reconhecer, de forma imediata, quais sistemas e circuitos estão envolvidos em cada evento simulado, apoiando a análise rápida do alcance funcional da ocorrência.

Figura 30 - Visualização integrada dos sistemas de proteção contra incêndio, com codificação por cores para a distinção dos diferentes sistemas e de seus respectivos laços operacionais (loops).



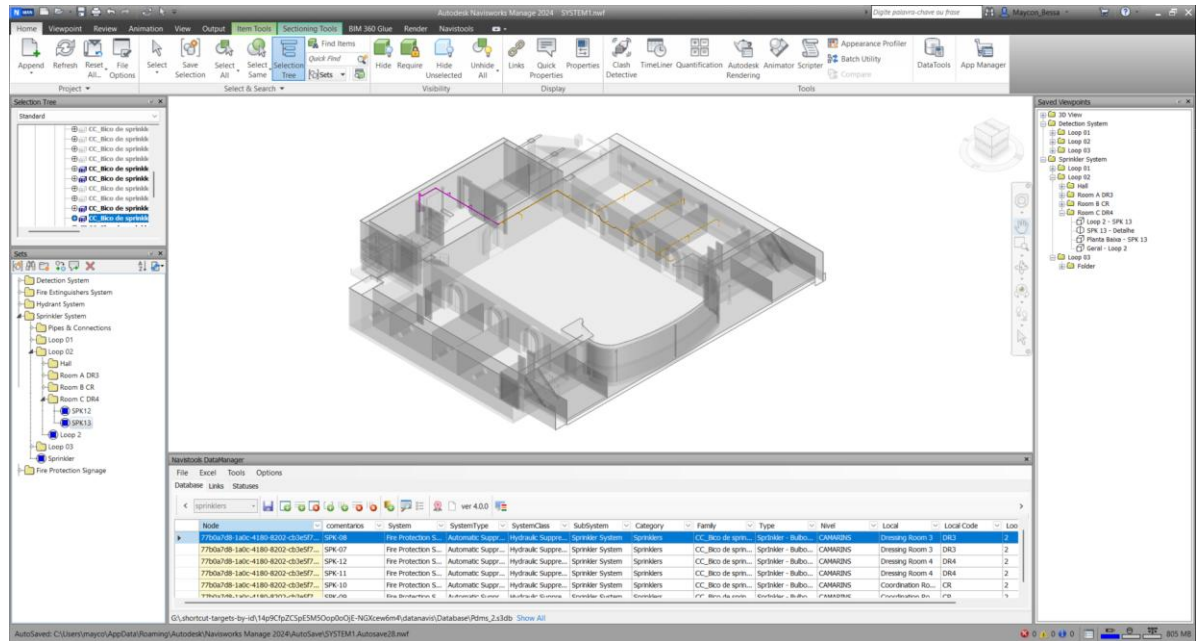
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2.1 Simulação de emergência – acionamento SPK13 (Room C DR4)

Usando os *viewpoints* previamente configurados e armazenados na pasta “*Sprinkler System – Loop 02*” (Figura 31), é possível identificar, de forma automática e orientada ao sistema, o conjunto de componentes do sistema de *sprinklers* (tubulações, conexões, registros de seccionamento e dispositivos terminais) associados ao atendimento da *Room C DR4*.

Na visualização, os elementos destacados em laranja representam as tubulações, conexões, registros e *sprinklers* pertencentes ao *Loop 02*, enquanto os elementos apresentados em magenta correspondem às tubulações, conexões e registros pertencentes aos *Loops 01, 02 e 03*, os quais compartilham o mesmo ponto de alimentação hidráulica. Os componentes do modelo arquitetônico, tais como paredes e pisos, são apresentados em modo transparente, exclusivamente para fins de contextualização espacial.

Figura 31 - Visualização do laço operacional (*Loop 02*) do sistema de *sprinklers* associado à Room C DR4.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como parte da validação do modelo orientado a sistemas, aplicado ao sistema de proteção contra incêndio, foi realizada a simulação de um cenário de emergência envolvendo a ativação indevida do dispositivo SPK13. O objetivo da simulação foi avaliar a capacidade do modelo em apoiar a identificação rápida do subsistema afetado, a delimitação da área de impacto e a definição de ações de seccionamento hidráulico a partir da estrutura de dados associada aos elementos do sistema.

No cenário analisado, o dispositivo SPK13 foi identificado como pertencente ao *Loop 02* da rede de *sprinklers*. A partir da visualização, verificou-se que esse laço hidráulico é responsável pelo atendimento simultâneo dos seguintes dispositivos: SPK03, SPK04, SPK05, SPK06, SPK07, SPK08, SPK09, SPK10, SPK11, SPK12 e SPK13.

A organização do sistema por laços operacionais permitiu isolar automaticamente, por meio do *viewpoint* correspondente ao *Loop 02*, todos os componentes associados a esse circuito hidráulico, incluindo ramais de distribuição, prumadas, conexões, dispositivos terminais e registros de controle. Esse procedimento possibilitou a compreensão imediata da extensão funcional do evento e a identificação precisa dos elementos potencialmente impactados pela ocorrência.

Durante a análise do cenário, foi identificado que o RG01 (Registro 01) corresponde ao elemento responsável pelo seccionamento hidráulico integral do *Loop 02*. Dessa forma, para

a contenção inicial da ocorrência e a interrupção do fornecimento de água aos dispositivos afetados, foi possível determinar diretamente no modelo que o fechamento do Registro 01 é suficiente para isolar o conjunto de *sprinklers* compreendido entre os dispositivos SPK03 e SPK13.

Após o isolamento do laço, o modelo permitiu a visualização contínua do caminhamento da tubulação associada ao *Loop 02* ao longo da edificação até o SPK13, possibilitando o rastreamento espacial completo da rede hidráulica e a verificação dos trechos críticos em situações de vazamento ou falha localizada em pontos distintos do sistema, como representado na Figura 32. Essa funcionalidade mostrou-se particularmente relevante para a inspeção direcionada de conexões, mudanças de direção, trechos verticais e interfaces com outros sistemas prediais.

Figura 32 - Simulação de emergência com ativação do SPK13 e isolamento do *Loop 02* do sistema de *sprinklers*, com rastreamento espacial da rede hidráulica e identificação do registro de seccionamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2.2 Simulação de emergência – acionamento SD14 (Room D DR1)

Como segundo cenário de emergência, foi simulada uma situação de incêndio a partir do acionamento do detector SD14, integrante do sistema de detecção e alarme de incêndio da edificação.

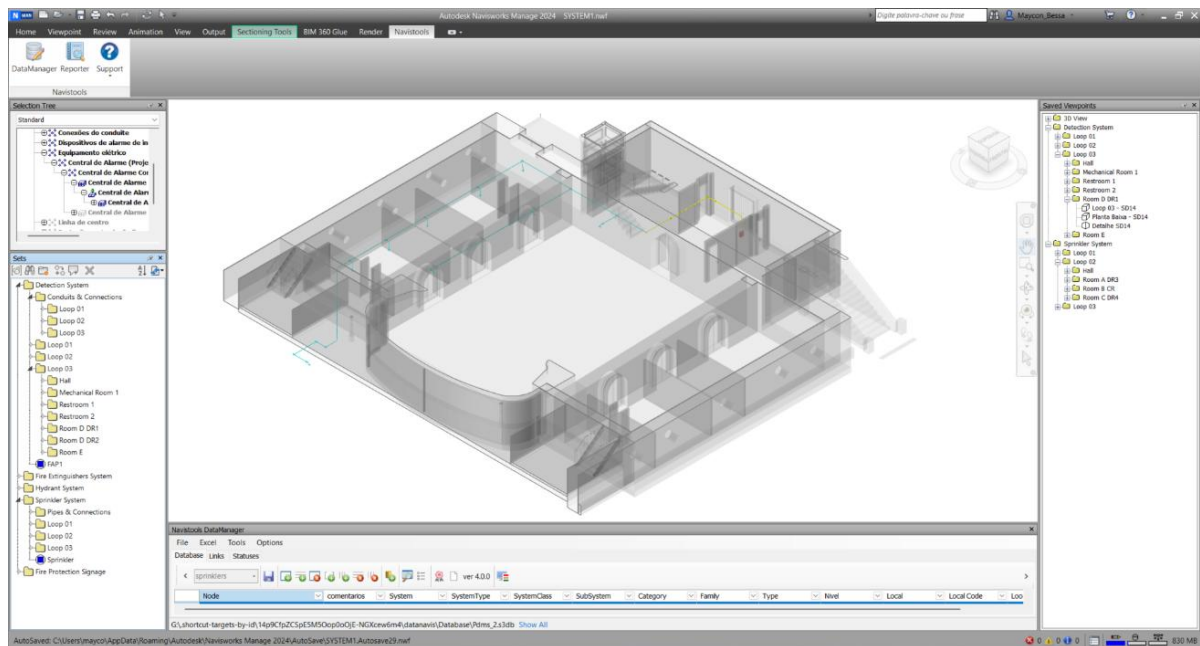
Durante a operação do edifício, a equipe de segurança recebeu, na central de alarme de incêndio, a indicação de disparo de um detector, sem que, naquele primeiro momento, houvesse confirmação visual da origem do evento. A partir desse alerta, tornou-se necessário

identificar, de forma imediata: o detector acionado, a sala associada, o laço de comunicação (*Loop*) ao qual o dispositivo pertence e a central responsável pelo seu endereçamento, de modo a apoiar a resposta operacional.

Utilizando os *viewpoints* previamente configurados para o sistema de detecção, foi selecionado o cenário correspondente ao acionamento do detector SD14, conforme ilustrado na Figura 33. A partir desse *viewpoint*, permitiu identificar automaticamente o dispositivo acionado, bem como sua localização espacial na edificação, possibilitando a associação direta do evento à respectiva sala atendida pelo detector.

Na visualização apresentada na Figura 33, os elementos destacados na cor ciano representam o eletroduto pertencente exclusivamente ao *Loop* 03, responsável pelo endereçamento e comunicação dos dispositivos HD4, HD5, HD6, SD11, SD12, SD13, SD14, SD15 e SD16. Os elementos destacados em amarelo representam o eletroduto principal que abriga fisicamente a infraestrutura dos *Loops* 01, 02 e 03 do sistema de detecção.

Figura 33 - Visualização do laço operacional (*Loop* 03) do sistema de detecção associado à Room D DR1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

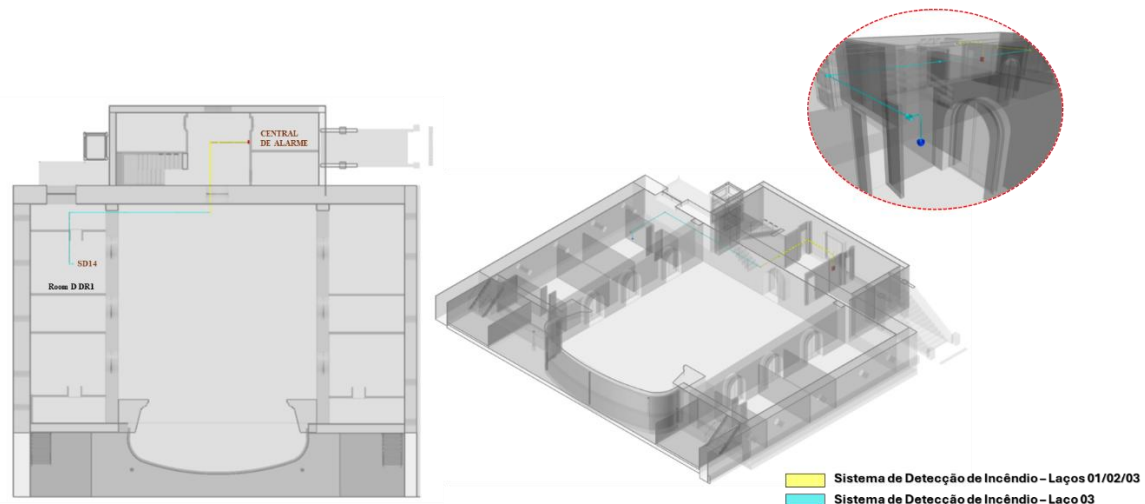
A organização do modelo por laços de comunicação possibilitou, ainda, isolar automaticamente todos os dispositivos vinculados ao mesmo circuito lógico, permitindo verificar, no momento do evento, quais detectores e dispositivos compartilham o mesmo *Loop* do detector acionado. Esse procedimento mostrou-se fundamental para a avaliação de possíveis

falhas de comunicação, curto-circuito ou degradação da infraestrutura que possam comprometer simultaneamente mais de um dispositivo.

Com base no *viewpoint* centrado no SD14, o modelo também permitiu a visualização contínua do caminhamento do eletroduto do *Loop 03* ao longo do pavimento, desde os trechos principais até as derivações que atendem diretamente os detectores. Essa visualização, viabilizou a rápida identificação de pontos críticos do percurso, tais como mudanças de direção, derivações intermediárias e trechos compartilhados com outros sistemas prediais, auxiliando a equipe de manutenção na inspeção física em campo e na definição de rotas prioritárias de verificação durante a ocorrência real de incêndio.

A partir do acionamento do *viewpoint* (Figura 34), verificou-se que o detector SD14 está associado ao *Loop 03* do sistema endereçável de detecção de incêndio e localizado na *Room D DR1*. Conseqüentemente, foi possível identificar, de forma imediata, que o evento é tratado pela central de alarme responsável pelo endereçamento do *Loop 03*, permitindo à equipe técnica direcionar a análise e os procedimentos operacionais à central correspondente.

Figura 34 - Simulação de emergência com ativação do SD14 e isolamento do Loop 03 do sistema de detecção, com rastreamento espacial da infraestrutura.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.3 Gestão visual

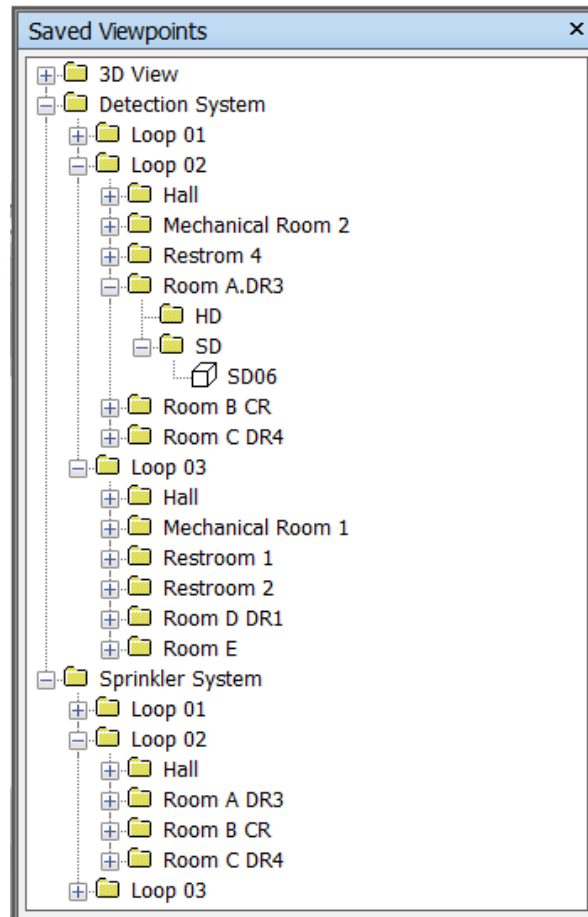
Um modelo BIM orientado à operação e manutenção, configurado segundo uma abordagem *systems-centric*, viabiliza a aplicação de filtros baseados em regras de busca sobre atributos funcionais e relacionais dos elementos, permitindo a identificação, o isolamento e a

visualização seletiva dos componentes de sistemas e subsistemas diretamente envolvidos, ou potencialmente impactados, por uma emergência operacional. As visualizações resultantes podem ser armazenadas como *viewpoints*, assegurando o acesso imediato aos sistemas afetados e aos respectivos componentes durante a condução das atividades de resposta.

Conforme apresentado na Figura 35, a adoção de uma estrutura hierárquica de *viewpoints* possibilita a navegação rápida no modelo digital e favorece a tomada de decisão em tempo reduzido, uma vez que o operador passa a dispor de representações visuais orientadas à lógica de funcionamento dos sistemas prediais. Esses *viewpoints* também contribuem para a compreensão das interdependências entre componentes pertencentes a diferentes sistemas, viabilizando a análise de impactos cruzados e o planejamento coordenado de ações corretivas. Dessa forma, a equipe de operação e manutenção pode avaliar, de maneira quase imediata, como os sistemas se relacionam entre si, com os ambientes edificados e com as áreas potencialmente ocupadas durante a ocorrência.

Os filtros e as regras de busca necessários à geração dos conjuntos de seleção e dos *viewpoints* orientados a sistemas são definidos e incorporados ao modelo ainda na fase de preparação para a entrega ao proprietário. Essa pré-configuração assegura que, no início da fase de operação, o modelo esteja imediatamente apto a apoiar os processos de resposta a emergências. Adicionalmente, novos *viewpoints* podem ser criados e incorporados pela equipe do proprietário ao longo do ciclo de vida da edificação, de modo a atender a demandas operacionais específicas ou a novos cenários de risco identificados.

Figura 35 - Organização hierárquica dos *viewpoints* por sistema, laço operacional e ambiente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

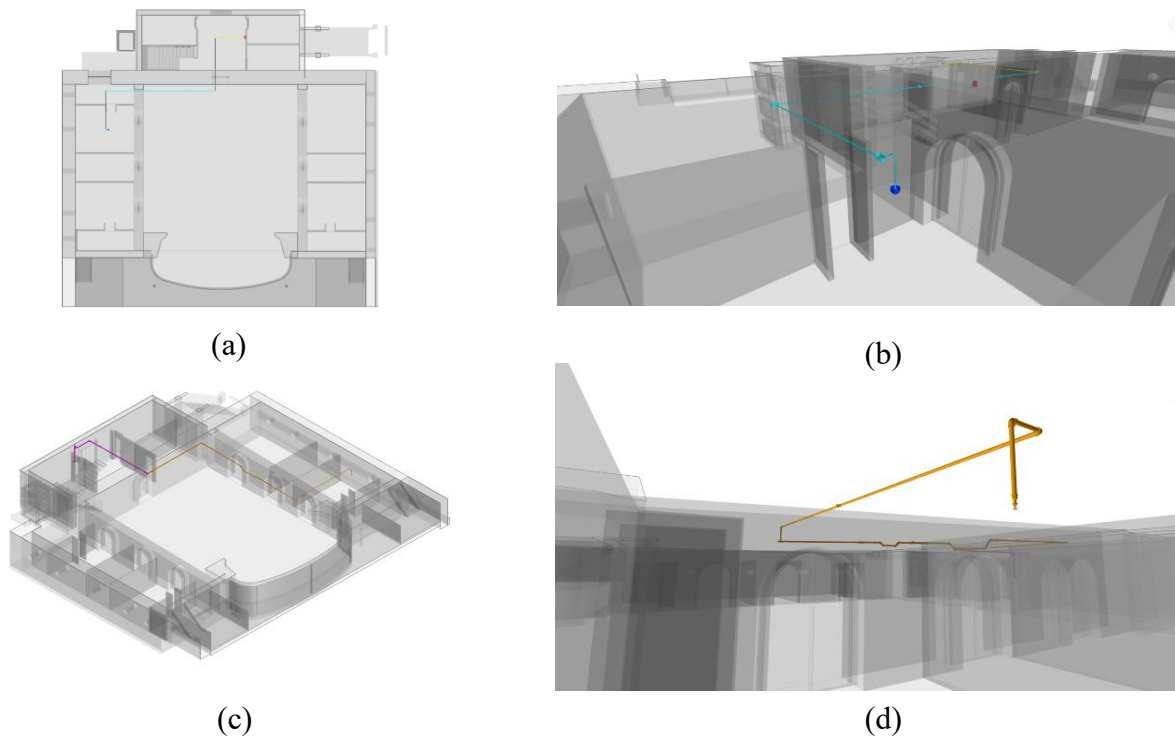
No presente estudo, a organização dos *viewpoints* para suporte à manutenção emergencial foi estruturada de forma hierárquica, permitindo a navegação tanto por *loop* operacional quanto por ambiente atendido. A pasta correspondente aos *loops* possibilita o acesso direto à topologia funcional de cada circuito, exibindo os componentes e subsistemas associados ao respectivo laço. Em complemento, a organização por ambientes permite que o usuário localize rapidamente um determinado espaço e visualize os ativos que o atendem, tais como detectores de fumaça (SD), detectores térmicos (HD) e os respectivos elementos de infraestrutura (Figura 35).

Cada ambiente é subdividido em pastas específicas por ativo, nas quais se encontram os *viewpoints* que destacam, de forma integrada, o subsistema correspondente e o modelo arquitetônico da edificação. Assim, os *viewpoints* são categorizados simultaneamente por *loop*, por ambiente e por tipo de equipamento, proporcionando múltiplas formas de acesso à informação operacional. Ressalta-se que, por se tratar de uma organização diretamente

vinculada à configuração física e funcional da edificação analisada, essa estrutura hierárquica é inerentemente específica ao projeto, devendo ser adaptada quando aplicada a outros empreendimentos.

Conforme ilustrado na Figura 36, são apresentados exemplos de *viewpoints* configurados no modelo. Na Figura 36a, apresenta-se a visualização em planta do *Loop* 03 do sistema de detecção, associada ao detector de fumaça SD14, localizado no ambiente Room D DR1. Na Figura 36b, é apresentada uma visualização a partir do interior do ambiente, evidenciando o detector SD14 e o caminhamento da infraestrutura de eletrodutos até o ponto de instalação do dispositivo. Nas Figura 36c e Figura 36d, são apresentadas visualizações isométricas do sistema de sprinklers, associadas ao dispositivo SPK13, localizado no ambiente Room C DR4, evidenciando a relação entre o dispositivo, a rede hidráulica correspondente e o respectivo laço operacional.

Figura 36 - *Viewpoints* dos subsistemas de detecção e supressão de incêndio: (a) planta baixa do *Loop* 03 com o detector SD14 (Room D DR1); (b) vista interna com o SD14 e o caminhamento dos eletrodutos; (c) vista isométrica do sistema de sprinklers associada ao SPK13 (Room C DR4); e (d) vista isométrica do caminhamento da rede hidráulica do respectivo laço operacional.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Comentários finais

O trabalho demonstrou que a integração entre o modelo BIM e o banco de dados SQL, viabilizada pelo plugin Navistools, supera os desafios de interoperabilidade semântica de Nível 3 apontados por ärn, Edwards e Sing, (2017) A utilização do GUID como chave primária garantiu a persistência da 'riqueza semântica' defendida por Succar, (2009), permitindo que informações críticas de manutenção e ciclo de vida sobrevivam à volatilidade dos arquivos geométricos. Essa arquitetura de dados descentralizada provou ser uma solução eficaz para a gestão de ativos complexos, evitando a sobrecarga dos modelos nativos e facilitando o fluxo de informações entre as partes interessadas.

A aplicação da taxonomia funcional em quatro níveis, aliada à metodologia de Noy; Mcguinness, (2001) permitiu transformar o modelo geométrico em um Modelo de Informação do Ativo (AIM) centrado em sistemas. A clusterização dos elementos em laços (*loops*) operacionais simplificou a complexidade inerente ao sistema de proteção contra incêndio do Teatro José de Alencar. Os resultados evidenciaram que a organização de dados em clusters não apenas organiza o inventário, mas atribui sentido funcional aos ativos, permitindo que a equipe de gestão visualize instantaneamente as interdependências e as zonas de impacto em cenários de falha.

A estruturação de *viewpoints* integrados a conjuntos de busca (*selection sets*) automatizados demonstrou o potencial da Gestão Visual como ferramenta de suporte à decisão. A transição para uma interface que associa dados não geométricos (como 'Dias para a próxima tarefa') à representação espacial 3D otimiza o tempo de resposta em atividades de Operação e Manutenção (O&M). Conclui-se que a metodologia proposta transforma o BIM de um recurso estático em um ecossistema de dados dinâmico, essencial para a salvaguarda proativa de ativos culturais de alta relevância social e artística, onde a precisão técnica é indissociável da preservação patrimonial.

Por fim, este estudo contribui para a área da gestão da construção por meio de uma abordagem oriunda da ciência de dados que desacopla a geometria da informação. Esta flexibilidade permite que a base de dados seja expandida continuamente sem interferir no modelo BIM original, oferecendo um caminho viável e escalável para gestores de infraestrutura que buscam implementar a gestão de ativos digitalizada de forma eficiente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação teve como objetivo propor e validar uma metodologia integrada baseada em HBIM e Gestão de Instalações para apoiar a gestão da manutenção e a mitigação de riscos em sistemas de proteção contra incêndio de edificações históricas. Para esse fim, foi desenvolvido e aplicado uma estrutura digital orientado à estruturação sistêmica da informação, à automação de processos de manutenção e à visualização das interdependências entre subsistemas, tomando como estudo de caso o Teatro José de Alencar.

Como principal contribuição científica, destaca-se a proposição do modelo F2SM, que integra práticas de HBIM e Gestão de Instalações a uma abordagem orientada por requisitos informacionais e por organização funcional dos ativos. Diferentemente de abordagens tradicionais baseadas predominantemente em modelos geométricos detalhados, a metodologia proposta prioriza a racionalização do modelo digital, por meio da dissociação entre geometria e informação, concentrando-se nos elementos, parâmetros e relacionamentos essenciais à operação e à manutenção dos sistemas de segurança contra incêndio.

Adicionalmente, a pesquisa contribui ao introduzir uma estrutura de informação centrada em sistemas e laços operacionais, integrada a uma base de dados relacional e a um ambiente de visualização, possibilitando a análise das interdependências funcionais entre subsistemas de detecção e supressão de incêndio. Essa abordagem permite a identificação de zonas de impacto e a simulação de cenários de falha, ampliando o suporte à tomada de decisão em situações críticas e de emergência, aspecto ainda pouco explorado na literatura de BIM aplicado à fase de operação, especialmente no contexto patrimonial.

No campo tecnológico, a pesquisa demonstra a viabilidade da automação dos processos de atualização, registro e acompanhamento das atividades de manutenção diretamente no ambiente BIM, por meio da integração entre modelos digitais, rotinas computacionais e bases de dados estruturadas. Os resultados evidenciam que a adoção de filtros visuais, parâmetros orientados à manutenção e recursos de acesso rápido à informação, como códigos QR, contribui para a melhoria da rastreabilidade das intervenções e para a usabilidade dos modelos por equipes técnicas de operação, reduzindo a dependência de ferramentas externas e de registros fragmentados.

Apesar dos resultados alcançados, a pesquisa apresenta algumas limitações. O método foi validado a partir de um único estudo de caso, restrito a uma edificação histórica específica, o que limita a generalização direta dos resultados para outros tipos de edificações patrimoniais ou para conjuntos de edificações. Além disso, a implementação da metodologia

dependeu de um processo inicial de modelagem e estruturação manual dos sistemas e de seus parâmetros informacionais, o que demanda esforço técnico especializado. Ressalta-se, ainda, que o modelo desenvolvido não incorpora dados provenientes de sensores em tempo real, o que restringe sua aplicação a contextos de monitoramento dinâmico e de resposta automatizada a eventos.

Como perspectivas para trabalhos futuros, recomenda-se a ampliação da aplicação da metodologia proposta para outros tipos de sistemas prediais críticos, tais como sistemas elétricos, de climatização e de controle de acesso, bem como sua validação em diferentes tipologias de edificações históricas. Sugere-se, adicionalmente, a integração da estrutura F2SM com sistemas corporativos de gestão da manutenção (CMMS) e com plataformas de gêmeos digitais, de modo a permitir a incorporação de dados em tempo real, a atualização automática do estado operacional dos ativos e o suporte avançado à gestão de riscos.

REFERÊNCIAS

- ABABNEH, Alaa. Prioritizing Heritage Building Maintenance: A Fuzzy Model Approach for Arc De Berà, Spain. **Mediterranean Archaeology and Archaeometry**, v. 23, n. 3, p. 58–75, 2023.
- ABDELALIM, Ahmed Mohammed *et al.* Developing Standard BIM Execution Plans for Complex Construction Projects. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 14, n. 15, 1 ago. 2024.
- ABIDEEN, Dania K. *et al.* **A Systematic Review of the Extent to Which BIM Is Integrated into Operation and Maintenance. Sustainability (Switzerland)**MDPI, , 1 jul. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10897** - Sistemas de proteção contra incêndio por chuveiros automáticos - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12693** - Sistemas de proteção por extintores de incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13714** -Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17240** - Sistemas de detecção e alarme de incêndio – Projeto, instalação, comissionamento e manutenção de sistemas de detecção e alarme de incêndio – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 19650-1** - Organização da informação acerca de trabalhos da construção — Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 19650-2** - Organização da informação acerca de trabalhos da construção — Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção Parte 2: Fase de entrega de ativos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 41001** - Facility management - Sistemas de gestão - Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- ADEGORIOLA, Mayowa I. *et al.* Heritage building maintenance management (HBMM): A bibliometric-qualitative analysis of literature. **Journal of Building Engineering**. Elsevier Ltd, , 1 out. 2021.
- AMMARI, Khaled El; HAMMAD, Amin. Collaborative BIM-Based Markerless Mixed Reality Framework for Facilities Maintenance. *In*: Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 17 jun. 2014.
- ANTONOPOULOU, Sofia; BRYAN, Paul. BIM for Heritage. **Historic England**, n. <https://historicengland.org.uk/advice/technical-advice/recording-heritage/>, p. 78, 2017.
- AREWA, Andrew Oyen *et al.* Fire Safety in High-Rise Buildings: Is the Stay-Put Tactic a Misjudgement or Magnificent Strategy? **Buildings**, v. 11, n. 8, p. 339, 6 ago. 2021.
- ARICÒ, Manuela; LO BRUTTO, Mauro; MALTESE, Antonino. A Scan-to-BIM Approach for the Management of Two Arab-Norman Churches in Palermo (Italy). **Heritage**, v. 6, n. 2, p. 1622–1644, 1 fev. 2023.

AS 1851. **Routine service of fire protection systems and equipment. Standards Australia**, 2012.

ASHWORTH, Simon; DILLINGER, Michelle; KÖRKEMEYER, Karsten. BIM guidance to optimise the operational phase: defining information requirements based on ISO 19650. **Facilities**, v. 41, n. 5–6, p. 337–356, 11 abr. 2023.

ATKIN, Brian; BROOKS, Adrian. **Total Facilities Management**. 3. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2009.

AZIZ, Angelina *et al.* **Fully autonomous fire safety equipment inspection missions on a legged robot**. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING (I3CE)*, 2023, Corvallis. Anais [...]. [S.l.: s.n.], 2023. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34847.33446>.

BA, Zedong *et al.* Change Management of Organizational Digital Transformation: A Proposed Roadmap for Building Information Modelling-Enabled Facilities Management. **Buildings**, v. 14, n. 1, p. 27, 21 dez. 2023.

BAE, Subin; CHA, Heesung; JIANG, Shaohua. IFC-BIM-Based Fire Information System for Enhancing Preventive Building Maintenance. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 39, n. 3, jun. 2025.

BARRETT, P.; BALDRY, D. **Facilities Management: Towards Best Practice**. [S.l.]: Wiley, 2003.

BECERIK-GERBER, Burcin *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.

BESSA, Maycon *et al.* **Customized BIM-Maintenance System for Facilities Management**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E RECUPERAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES (CINPAR), 21., 2025, Brasília. Anais [...]. [S.l.: s.n.], 2025.

BIM TASK GROUP. **Government Soft Landings: Departmental Implementation Brief, BIM**. 2013.

BRILAKIS, Ioannis; PARK, Man-Woo; JOG, Gauri. Automated vision tracking of project related entities. **Advanced Engineering Informatics**, v. 25, n. 4, p. 713–724, out. 2011.

BRUMANA, R. *et al.* Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOI): surveying, preservation, site intervention—the Basilica di Collemaggio (L'Aquila). **Applied Geomatics**, v. 10, n. 4, p. 545–567, 24 dez. 2018.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 7913**: guide to the conservation of historic buildings. London: BSI, 2013.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 9999**: fire safety in the design, management and use of buildings – code of practice. London: BSI, 2017.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN ISO 7817-1**: building information modelling – level of information need – part 1: concepts and principles. London: BSI, 2024.

BYUN, Namju *et al.* Development of BIM-Based Bridge Maintenance System Considering Maintenance Data Schema and Information System. **Sustainability**, v. 13, n. 9, p. 4858, 26 abr. 2021.

CHAE, Hyungjoo *et al.* **Language Models as Compilers: Simulating Pseudocode Execution Improves Algorithmic Reasoning in Language Models**. In: Stroudsburg, PA, USA:

Association for Computational Linguistics, 2024.

CHAE, Soungho; YOSHIDA, Tomohiro. Application of RFID technology to prevention of collision accident with heavy equipment. **Automation in Construction**, v. 19, n. 3, p. 368–374, maio 2010.

CHAREF, Rabia; ALAKA, Hafiz; EMMITT, Stephen. Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views. **Journal of Building Engineering**, v. 19, p. 242–257, 1 set. 2018.

CHEN, Kuen-Min; CHEN, Joseph C.; COX, Ronald A. Real time facility performance monitoring system using RFID technology. **Assembly Automation**, v. 32, n. 2, p. 185–196, 6 abr. 2012.

CHENG, Ruijie; HOU, Lei; XU, Sheng. A Review of Digital Twin Applications in Civil and Infrastructure Emergency Management. **Buildings**, v. 13, n. 5, p. 1143, 25 abr. 2023.

CHIEF SCIENTIST PROGRAM FOR CULTURE (BRAZIL). **DocumentaCE – Cultural heritage digital repository**. Disponível em: <https://www.documentace.com/>.

DAUDA, Jamiu A. *et al.* A Systematic Review of Building Fire Safety Practices in the UK: Approaches, Challenges and Recommendations. **Fire Technology**, v. 61, n. 7, p. 5589–5612, 18 dez. 2025.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN SPEC 91391-2: common data environments (CDE) for BIM projects – function sets and open data exchange between platforms of different vendors – part 2: open data exchange with common data environments**. Berlin: DIN, 2019.

DIROOTS. **ParaManager User Guide/Families**. Disponível em: <https://docs.dirootsone.diroots.com/docs/pages/ParaManager/PM-Families.html>>.

DURDYEV, Serdar *et al.* Barriers to the implementation of Building Information Modelling (BIM) for facility management. **Journal of Building Engineering**, v. 46, 1 abr. 2022.

DZULKIFLI, Nur'afini *et al.* Review on maintenance issues toward building maintenance management best practices. **Journal of Building Engineering**, v. 44, p. 102985, 2021.

EASTMAN CHUCK *et al.* **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2014.

DIRISINGHE, Ruwini; LONDON, Kerry. Comparative analysis of international and national level BIM standardization efforts and BIM adoption. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION (CIB W78), 32., 2015, Eindhoven. **Anais [...]**. Eindhoven: International Council for Research and Innovation in Building and Construction, 2015.

EL AMMARI, Khaled; HAMMAD, Amin. Remote interactive collaboration in facilities management using BIM-based mixed reality. **Automation in Construction**, v. 107, p. 102940, nov. 2019.

ELGHAMRAWY, Tarek; BOUKAMP, Frank. Managing construction information using RFID-based semantic contexts. **Automation in Construction**, v. 19, n. 8, p. 1056–1066, dez. 2010.

EN 54. **Fire detection and fire alarm systems (series)**. European Committee for Standardization (CEN):Brussels, 2017.

- EN 671. **Fixed firefighting systems – Hose systems. European Committee for Standardization (CEN):**, 2012.
- EN 12845. **Fixed firefighting systems – Automatic sprinkler systems – Design, installation and maintenance. European Committee for Standardization (CEN):**, 2009.
- ENSAFI, Mahnaz; HARODE, Ashit; THABET, Walid. Developing systems-centric as-built BIMs to support facility emergency management: A case study approach. **Automation in Construction**, v. 133, p. 104003, jan. 2022.
- ENSAFI, Mahnaz; THABET, Walid Y. *Challenges and gaps in facility maintenance practices*. In: ASSOCIATED SCHOOLS OF CONSTRUCTION INTERNATIONAL CONFERENCE (ASC), 57., 2021, [S.l.]. **Anais [...]**. [S.l.]: EasyChair, 2021. p. 237–245. DOI: <https://doi.org/10.29007/1h2j>
- ERGEN, Esin; AKINCI, Burcu; SACKS, Rafael. Tracking and locating components in a precast storage yard utilizing radio frequency identification technology and GPS. **Automation in Construction**, v. 16, n. 3, p. 354–367, maio 2007.
- FANG, Hongqiang; LO, Siuming; LO, Jacqueline T. Y. Building Fire Evacuation: An IoT-Aided Perspective in the 5G Era. **Buildings**, v. 11, n. 12, p. 643, 13 dez. 2021.
- FARAJI, Amir *et al.* **Building Information Modeling (BIM), Blockchain, and LiDAR Applications in Construction Lifecycle: Bibliometric, and Network Analysis. Buildings** Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), , 1 abr. 2024.
- FARGHALY, Karim *et al.* Taxonomy for BIM and Asset Management Semantic Interoperability. **Journal of Management in Engineering**, v. 34, n. 4, jul. 2018.
- GAO, Xinghua; PISHDAD-BOZORGI, Pardis. BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review. **Advanced Engineering Informatics**, v. 39, p. 227–247, jan. 2019.
- GERRISH, Tristan *et al.* BIM application to building energy performance visualisation and management Challenges and potential. **Energy and Buildings**, v. 144, p. 218–228, 1 jun. 2017.
- GODINHO, Márcia *et al.* BIM as a resource in heritage management: An application for the National Palace of Sintra, Portugal. **Journal of Cultural Heritage**, v. 43, p. 153–162, 1 maio 2020.
- GOEDERT, James D.; MEADATI, Pavan. Integrating Construction Process Documentation into Building Information Modeling. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 134, n. 7, p. 509–516, jul. 2008.
- GOUDA MOHAMED, Ahmed; MOUSA, Amr. As-is facility management approach using LiDAR-based building information modelling: a case study in Egypt. **Journal of Facilities Management**, v. 22, n. 4, p. 548–563, 17 jul. 2024.
- GOVERNMENT OF CANADA. **Canadian Conservation Institute Notes**: conservation and preservation information for cultural objects. Ottawa: Canadian Conservation Institute, [1983]. Disponível em: <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes.html>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- HAGEDORN, P. *et al.* ams-icdd-usecases: Use cases for employing ICDD containers for infrastructure asset management . 2022.
- HAGEDORN, Philipp *et al.* BIM-Enabled Infrastructure Asset Management Using Information Containers and Semantic Web. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v.

37, n. 1, jan. 2023.

HALDER, Srijeet; AFSARI, Kereshmeh. Robots in Inspection and Monitoring of Buildings and Infrastructure: A Systematic Review. **Applied Sciences**, v. 13, n. 4, p. 2304, 10 fev. 2023.

HARODE, Ashit; ENSAFI, Mahnaz; THABET, Walid. Linking BIM to Power BI and HoloLens 2 to Support Facility Management: A Case Study Approach. **Buildings**, v. 12, n. 6, p. 852, 18 jun. 2022.

HEESOM, David *et al.* Implementing a HBIM approach to manage the translocation of heritage buildings. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 28, n. 10, p. 2948–2966, 4 nov. 2021.

HU, Difeng; GAN, Vincent J. L.; YIN, Chao. Robot-assisted mobile scanning for automated 3D reconstruction and point cloud semantic segmentation of building interiors. **Automation in Construction**, v. 152, p. 104949, ago. 2023.

HUAN, Xiao *et al.* Building information modelling (BIM)-enabled facility management (FM) of nursing homes in China: A systematic review. **Journal of Building Engineering**, v. 99, p. 111580, abr. 2025.

INOJOSA, Leonardo da Silveira Pirillo *et al.* **Manual para projetos de Retrofit: Metodologia em BIM.** [S.l.: S.n.], 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/388717422_MANUAL_PARA_PROJETOS_DE_RETROFIT_METODOLOGIA_EM_BIM. Acesso em: 21 jul. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7240: fire detection and alarm systems (series)**. Geneva: ISO, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 21927: smoke and heat control systems (series)**. Geneva: ISO, 2008.

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

JIANG, Rui *et al.* **Government efforts and roadmaps for building information modeling implementation: lessons from Singapore, the UK and the US.** **Engineering, Construction and Architectural Management** Emerald Group Holdings Ltd., , 8 mar. 2022.

JORDAN-PALOMAR, Isabel *et al.* Protocol to Manage Heritage-Building Interventions Using Heritage Building Information Modelling (HBIM). **Sustainability**, v. 10, n. 4, p. 908, 21 mar. 2018.

KAMAL, Zahra; TAGHADDOS, Hosein; METVAEI, Saeid. BIM-based repair and maintenance for hospital work order management. **Automation in Construction**, v. 143, p. 104546, nov. 2022.

KARLAPUDI, J.; PRATHAP, V.; MENZEL, K. An explanatory use case for the implementation of information container for linked document delivery in common data environments. In: . Proceedings of the EG-ICE 2021 **Workshop on Intelligent Computing in Engineering**, 2021.

KASSEM, Mohamad *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.

KASSIM, A. M.; ROSLAN, M. M.; SAHAK, S.; CHIAN, T. W. Performance evaluation of intelligent fire alarm system with multi data fusion sensor by using IoT platform. In:

MOKHTAR, M. N. A. et al. (ed.). *Intelligent manufacturing and mechatronics*. Singapore: Springer, 2022. p. 199–209. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-8954-3_20.

KHAN, Muhammad. ASSESSMENT OF STRUCTURAL DESIGN CAPABILITY OF BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) TOOLS IN BUILDING INDUSTRY OF PAKISTAN. **JOURNAL OF MECHANICS OF CONTINUA AND MATHEMATICAL SCIENCES**, v. 14, n. 2, 28 abr. 2019.

KHAN, Muhammad Shoaib *et al.* An Integrated HBIM Framework for the Management of Heritage Buildings. **Buildings**, v. 12, n. 7, 1 jul. 2022.

KHEDR, Reem; ABDELALIM, Ahmed Mohamed. **The impact of strategic management on project's performance of construction firms in Egypt**. **International Journal of Management and Commerce Innovations**, v. 9, n. 2, p. 202–211, out. 2021 – mar. 2022.

KIM, Juhyeon *et al.* Deep learning-based 3D reconstruction of scaffolds using a robot dog. **Automation in Construction**, v. 134, p. 104092, fev. 2022.

KIM, Young-Jin *et al.* Advanced fire emergency management based on potential fire risk assessment with informative digital twins. **Automation in Construction**, v. 167, p. 105722, nov. 2024.

KINCAID, Simon. The Upgrading of Fire Safety in Historic Buildings. **The Historic Environment: Policy & Practice**, v. 9, n. 1, p. 3–20, 2 jan. 2018.

KIVINIEMI, Arto; CODINHOTO, Ricardo. Challenges in the Implementation of BIM for FM—Case Manchester Town Hall Complex. *In*: Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 17 jun. 2014.

KIVITS, Robbert Anton; FURNEAUX, Craig. BIM: Enabling Sustainability and Asset Management through Knowledge Management. **The Scientific World Journal**, v. 2013, n. 1, 10 jan. 2013.

KOLHATKAR, Gaurav *et al.* Converting Epics/Stories into Pseudocode Using Transformers. *In*: IEEE, 14 dez. 2023.

KULA, Behlul; ERGEN, Esin. 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.

LAM, Terence Y. M.; JONES, Robin M. Historic public building facilities in Wales: a total framework for achieving fire compartmentation and maintaining cultural value. **Facilities**, v. 43, n. 5/6, p. 245–262, 25 abr. 2025.

LAVY, Sarel; SAXENA, Nishaant; DIXIT, Manish. 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.

LEA, G. *et al.* Identification and analysis of UK and US BIM standards to aid collaboration. *In*: WIT Press, 9 set. 2015.

LEE, Seulki; YU, Jungho. Comparative Study of BIM Acceptance between Korea and the United States. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 3, mar. 2016.

LIAO, Longhui *et al.* Reducing Non-Value-Adding BIM Implementation Activities for Building Projects in Singapore: Leading Causes. **Journal of Management in Engineering**, v. 37, n. 3, maio 2021.

- LIN, Fangzhou *et al.* Efficient visual inspection of fire safety equipment in buildings. **Automation in Construction**, v. 171, 1 mar. 2025.
- LIN, Yu-Cheng; SU, Yu-Chih; CHEN, Yen-Pei. Developing Mobile BIM/2D Barcode-Based Automated Facility Management System. **The Scientific World Journal**, v. 2014, p. 1–16, 2014.
- LIU, R.; ISSA, R. R. A. **Issues in BIM for Facility Management from Industry Practitioners' Perspectives**. In: Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 24 jun. 2013.
- LIU, Xiuyu; ZHANG, Hao; ZHU, Qingming. Factor Analysis of High-Rise Building Fires Reasons and Fire Protection Measures. **Procedia Engineering**, v. 45, p. 643–648, 2012.
- LOVE, Peter E. D. *et al.* A systems information model for managing electrical, control, and instrumentation assets. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 5, n. 3, p. 278–289, 6 jul. 2015.
- MATARNEH, Rana; HAMED, Sadeq. Barriers to the Adoption of Building Information Modeling in the Jordanian Building Industry. **Open Journal of Civil Engineering**, v. 07, n. 03, p. 325–335, 2017.
- MATARNEH, Sandra *et al.* BIM-based facilities information: streamlining the information exchange process. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 17, n. 6, p. 1304–1322, 4 dez. 2019a.
- MATARNEH, Sandra T. *et al.* Building information modeling for facilities management: A literature review and future research directions. **Journal of Building Engineering**, v. 24, p. 100755, jul. 2019b.
- MATARNEH, Sandra T. *et al.* BIM for FM. **Facilities**, v. 38, n. 5/6, p. 378–394, 21 nov. 2019c.
- MAYO, Glenda; ISSA, Raja R. A. Nongeometric Building Information Needs Assessment for Facilities Management. **Journal of Management in Engineering**, v. 32, n. 3, maio 2016.
- MCARTHUR, J. J.; BORTOLUZZI, Brandon. Lean-Agile FM-BIM: a demonstrated approach. **Facilities**, v. 36, n. 13–14, p. 676–695, 21 nov. 2018.
- MIGILINSKAS, Darius *et al.* **The benefits, obstacles and problems of practical bim implementation**. In: Elsevier Ltd, 2013.
- MORAL SAIZ, Sergio; OLIVER-FAUBEL, Inmaculada; JORDÁN PALOMAR, Isabel. Implementación de HBIM en patrimonio arquitectónico. Estudio del caso de La iglesia de la Sang de Lliria. **EGE-Expresión Gráfica en la Edificación**, n. 15, p. 4–26, 28 dez. 2021.
- MORENO, Jonatan Villavicencio *et al.* Dynamic Data Feeding into BIM for Facility Management: A Prototype Application to a University Building. **Buildings**, v. 12, n. 5, p. 645, 12 maio 2022.
- MOYANO, Juan *et al.* Analysis and management of structural deformations through parametric models and HBIM workflow in architectural heritage. **Journal of Building Engineering**, v. 45, 1 jan. 2022.
- MURPHY, Maurice; MCGOVERN, Eugene; PAVIA, Sara. Historic building information modelling (HBIM). **Structural Survey**, v. 27, n. 4, p. 311–327, ago. 2009.
- NAGHSHBANDI, S. Neda. BIM for facility management: challenges and research gaps. **Civil Engineering Journal**, v. 2, n. 12, p. 679–684, dez. 2016.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES. **National BIM Guide for Owners**. Washington, DC: National Institute of Building Sciences, 2017.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 25**: standard for the inspection, testing, and maintenance of water-based fire protection systems. Quincy, MA: NFPA, 2026.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 914**: code for the protection of historic structures. Quincy, MA: NFPA, 2023.

NGUYEN, D. M. A new application model of lean management in small and medium sized enterprises. **International Journal of Simulation Modelling**, v. 14, n. 2, p. 289–298, 2015.

NICAŁ, Aleksander K.; WODYŃSKI, Wojciech. Enhancing Facility Management through BIM 6D. **Procedia Engineering**, v. 164, p. 299–306, 2016.

NOY, Natalya F.; MCGUINNESS, Deborah L. **Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology**. In: Stanford Conhecimento Sistemas Laboratório Técnico Relatório KSL-01-05, 2001. Disponível em: [http://protege.stanford.edu/publications/ontology development/ontology101.pdf](http://protege.stanford.edu/publications/ontology%20development/ontology101.pdf).

OH, Se-Wook; CHANG, Hee-Jin; KIM, Young-Suk; LEE, Jun-Bok; KIM, Han-Soo. *An application of PDA and barcode technology for the improvement of information management in construction projects*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION (ISARC), 2004, [S.l.]. **Anais [...]**. [S.l.: s.n.], 2004.

OLAPADE, Daramola Thompson; EKEMODE, Benjamin Gbolahan. Awareness and utilisation of building information modelling (BIM) for facility management (FM) in a developing economy: Experience from Lagos, Nigeria. **Journal of Facilities Management**, v. 16, n. 4, p. 387–395, 30 out. 2018.

OLBINA, Svetlana; ELLIOTT, Jonathan W. Contributing project characteristics and realized benefits of successful BIM implementation: A comparison of complex and simple buildings. **Buildings**, v. 9, n. 8, 1 ago. 2019.

OPOKU, De-Graft Joe *et al.* Digital twin application in the construction industry: A literature review. **Journal of Building Engineering**, v. 40, p. 102726, ago. 2021.

PADOVANO, Antonio *et al.* Towards sustainable cognitive digital twins: A portfolio management tool for waste mitigation. **Computers & Industrial Engineering**, v. 198, p. 110715, dez. 2024.

PALHA, Rachel Perez; HÜTTL, Ricardo Maciel Castro; DA COSTA E SILVA, Angelo Just. BIM interoperability for small residential construction integrating warranty and maintenance management. **Automation in Construction**, v. 166, 1 out. 2024.

PÄRN, E. A.; EDWARDS, D. J.; SING, M. C. P. The building information modelling trajectory in facilities management: A review. **Automation in Construction**, v. 75, p. 45–55, 1 mar. 2017.

PENG, Yan; AU-YONG, Cheong Peng; MYEDA, Nik Elyna. Knowledge graph of building information modelling (BIM) for facilities management (FM). **Automation in Construction**, v. 165, p. 105492, set. 2024.

PISHDAD-BOZORGI, Pardis. Future Smart Facilities: State-of-the-Art BIM-Enabled Facility Management. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 143, n. 9, set. 2017.

PISHDAD-BOZORGI, Pardis *et al.* Planning and developing facility management-enabled building information model (FM-enabled BIM). **Automation in Construction**, v. 87, p. 22–

38, mar. 2018.

PRIETO, A. J. *et al.* Impact of Maintenance, Rehabilitation, and Other Interventions on Functionality of Heritage Buildings. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 33, n. 2, 2019.

RIBEIRO, Gilmário C. *et al.* An integrated HBIM protocol for digital documentation, management and reconstruction of historic buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 118, p. 114920, jan. 2026.

RÓKA-MADARÁSZ, Lívia; MÁLYUSZ, Levente; TUCZAI, Péter. Benchmarking facilities operation and maintenance management using CAFM database: Data analysis and new results. **Journal of Building Engineering**, v. 6, p. 184–195, 1 jun. 2016.

ROMERO, David; GAIARDELLI, Paolo; POWELL, Daryl; WUEST, Thorsten; THÜRER, Matthias. **Digital lean cyber-physical production systems: the emergence of digital lean manufacturing and the significance of digital waste**. In: IFIP INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEMS (APMS), 2018, Seoul. Anais [...]. Cham: Springer, 2018.

RUBENS, Tallis *et al.* Digitalization based on high-resolution scanning and HBIM tools for damage assessment of the José de Alencar house. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 8, n. 1, 1 jun. 2023.

SADEGHI, Marjan; MEHANY, Mohammed; STRONG, Kelly. **Integrating Building Information Models and Building Operation Information Exchange Systems in a Decision Support Framework for Facilities Management**. In: Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 29 mar. 2018.

SALZANO, Antonio *et al.* Existing assets maintenance management: Optimizing maintenance procedures and costs through BIM tools. **Automation in Construction**, v. 149, 1 maio 2023.

SCHÖNFELDER, Phillip *et al.* Automating the retrospective generation of As-is BIM models using machine learning. **Automation in Construction**, v. 152, p. 104937, ago. 2023.

SCHÖNFELDER, Phillip *et al.* Enriching BIM models with fire safety equipment using keypoint-based symbol detection in escape plans. **Automation in Construction**, v. 162, p. 105382, jun. 2024.

SHAFIQ, Iqrash *et al.* Recommendations on Firefighting System Design, Erection, and Safe Operation. **Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice**, v. 13, n. 1, fev. 2022.

SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H. F.; SUDARSHAN, S. **Database System Concepts**. McGraw-Hill Education. [S.l.]: McGraw-Hill Education, 2020.

SPILLING, M. **Asset management surveying practice**. In: , Bishop's Stortford, U.K, 2016.

STEC, Anna A. *et al.* Environmental contamination following the Grenfell Tower fire. **Chemosphere**, v. 226, p. 576–586, jul. 2019.

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

TEICHOLZ, E. **Facility Design and Management Handbook**. McGraw Hill LLC. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=Hj1p5IuYY1wC>. Acesso em: 2 maio. 2025a.

TEICHOLZ, E. **Facility Design and Management Handbook**. [S.l.]: McGraw Hill LLC, 2001b.

TEICHOLZ, Eric. Computer-aided facilities management and facility conditions assessment software. **Facilities**, v. 13, n. 6, 1995.

TEIZER, Jochen; VENUGOPAL, Manu; WALIA, Anupreet. Ultrawideband for Automated Real-Time Three-Dimensional Location Sensing for Workforce, Equipment, and Material Positioning and Tracking. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2081, n. 1, p. 56–64, 1 jan. 2008.

TERRENO, S.; ANUMBA, C. J.; DUBLER, C. BIM-Based Management of Building Operations. *In*: Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 24 maio 2016.

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

TSAY, Gustavo Salles; STAUB-FRENCH, Sheryl; POIRIER, Érik. BIM for Facilities Management: An Investigation into the Asset Information Delivery Process and the Associated Challenges. **Applied Sciences**, v. 12, n. 19, p. 9542, 23 set. 2022.

TUHAISE, Valerian Vanessa; TAH, Joseph Handibry Mbatu; ABANDA, Fonbeyin Henry. Technologies for digital twin applications in construction. **Automation in Construction**, v. 152, p. 104931, ago. 2023.

USMAN, Muhammad *et al.* Taxonomies in software engineering: A Systematic mapping study and a revised taxonomy development method. **Information and Software Technology**, v. 85, p. 43–59, maio 2017.

VALINEJADSHOUBI, Mojtaba; MOSELHI, Osama; BAGCHI, Ashutosh. Integrating BIM into sensor-based facilities management operations. **Journal of Facilities Management**, v. 20, n. 3, p. 385–400, 31 maio 2022.

VECCO, Marilena. A definition of cultural heritage: From the tangible to the intangible. **Journal of Cultural Heritage**, v. 11, n. 3, p. 321–324, 2010.

VIEIRA, Mylene M. *et al.* Strategy for HBIM implementation using high-resolution 3D architectural documentation based on laser scanning and photogrammetry of the José de Alencar theatre. **Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage**, v. 30, p. e00287, set. 2023.

VIEIRA, Mylene M. *et al.* Semi-automatic scan-to-BIM procedure applied to architectural ornaments of Nossa Senhora do Rosário Church, Aracati-CE. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 9, n. 1, 1 jun. 2024.

VIJAY, P. V.; GADDE, Krishna Tulasi. Evaluation of Old and Historic Buildings Subjected to Fire. **Journal of Architectural Engineering**, v. 27, n. 2, jun. 2021.

WAHAB, Abdul; WANG, Jun. Factors-driven comparison between BIM-based and traditional 2D quantity takeoff in construction cost estimation. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 29, n. 2, p. 702–715, 8 mar. 2022.

WANG, Boyu *et al.* Vision-assisted BIM reconstruction from 3D LiDAR point clouds for MEP scenes. **Automation in Construction**, v. 133, p. 103997, jan. 2022.

WANG, Boyu *et al.* Omni-Scan2BIM: A ready-to-use Scan2BIM approach based on vision foundation models for MEP scenes. **Automation in Construction**, v. 162, p. 105384, jun. 2024.

WANG, Xiang *et al.* Enhancing building fire safety inspections with cognitive ergonomics-driven augmented reality: Impact of interaction modes. **Automation in Construction**, v. 170, p. 105939, fev. 2025.

WANG, Yunlong; ZHENG, Jingrong; DING, Bin. **Fire Protection Monitoring System for power cabin in Utility Tunnel based on IOT Technology**. *In: IEEE*, 15 out. 2021.

WETZEL, Eric M.; THABET, Walid Y. The use of a BIM-based framework to support safe facility management processes. **Automation in Construction**, v. 60, p. 12–24, dez. 2015.

WONG, Mun On; LEE, Sanghoon. IFC-based information exchange for multi-agency response to indoor fire emergencies. **Automation in Construction**, v. 144, p. 104623, dez. 2022.

XIE, Yuan *et al.* As-built BIM reconstruction of piping systems using smartphone videogrammetry and terrestrial laser scanning. **Automation in Construction**, v. 156, p. 105120, dez. 2023.

YANG, Xiucheng *et al.* **Review of built heritage modelling: Integration of HBIM and other information techniques**. **Journal of Cultural Heritage** Elsevier Masson s.r.l., , 1 nov. 2020.

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

APÊNDICE A – PLANO DE EXECUÇÃO BIM DO TEATRO JOSÉ DE ALENCAR



Este documento tem por objetivo consolidar as informações e os requisitos necessários para a aplicação da metodologia BIM no processo de modelagem de edificações históricas de forma estruturada e consistente.

Nele, devem ser definidos um conjunto de informações essenciais para a execução das atividades, o estabelecimento de metas e objetivos, bem como a delimitação de responsabilidades, de modo a assegurar o alinhamento de expectativas entre todas as partes envolvidas.

Ressalta-se que se trata de um documento dinâmico, passível de atualizações ao longo de todo o processo de modelagem.

HISTÓRICO DE REGISTRO

VERSÃO	DATA	AUTOR	DESCRIÇÃO
1	16/01/2026	MAYCON BESSA	EMISSÃO INICIAL

ÍNDICE

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO

1.1 INFORMAÇÕES DA CONSTRUÇÃO

1.2 INFORMAÇÕES DO ÓRGÃO RESPONSÁVEL

2. REQUISITOS DE INFORMAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO - OIR

2.1 OBJETIVOS ESTRATÉGICOS

3. REQUISITOS DE INFORMAÇÕES DO ATIVO - AIR

3.1 USOS PRETENDIDOS DO HBIM

3.2 NÍVEL DE INFORMAÇÃO NECESSÁRIA (LOIN)

3.3 CRONOGRAMA DE MODELAGEM

3.4 EQUIPE HBIM

3.5 FERRAMENTAS

3.6 PADRONIZAÇÃO DE NOMENCLATURA

3.7 ESPECIFICAÇÕES DE MODELAGEM

4. REQUISITOS DE TROCA DE INFORMAÇÕES - EIR

4.1 REPOSITÓRIO

4.2 FREQUÊNCIA DE ATUALIZAÇÃO DOS ARQUIVOS

4.3 COMUNICAÇÃO



1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO

1.1 INFORMAÇÕES DA CONSTRUÇÃO

Nome da edificação:	Teatro José de Alencar	Sigla:	TJA
Endereço completo:	Endereço: R. Liberato Barroso, 525 - Centro, Fortaleza - CE, 60030-160		
Tipo de proteção:	Patrimônio Histórico Nacional		
Tipo de uso atual:	Espaço cultural e Teatro		
Ano de construção:	1908		
Número de pavimentos:	3 andares		
Documentação existente:	Modelo HBIM, Nuvem de pontos, Documentados em áudio, planilhas, arquivo de áudio, Registro fotograficos, Documentação técnica e Documentos digitalizados		
Nível de acesso:	<input type="checkbox"/> LIVRE	<input type="checkbox"/> RESTRITO	<input checked="" type="checkbox"/> SOB AGENDAMENTO
Observações adicionais:	[Campo livre para anotações]		

1.2 INFORMAÇÕES DO ÓRGÃO RESPONSÁVEL

Nome do órgão/instituição:	IDM/SECULT.
Nome do responsável técnico:	[Nome da pessoa de contato principal da edificação]
Cargo do responsável técnico:	[Ex: Arquiteto, coordenador, etc]
Telefone de contato do órgão/instituição:	(85) 3101-2603
Telefone de contato do responsável técnico:	[00 00000-0000]
Endereço completo do órgão/instituição:	Rua Liberato Barroso, 525, Centro, Fortaleza - CE, 60030-160
E-mail do órgão/instituição:	tja@secult.ce.gov
E-mail do responsável técnico:	[Ex: exemplo@orgao.gov.br]
Observações adicionais:	[Campo livre para anotações]



2. REQUISITOS DE INFORMAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO - OIR

Consiste na indicação de objetivos, por parte do órgão responsável, que deverão ser considerados durante a elaboração do modelo. Diante disso, sempre que possível, deverão estar vinculados aos usos HBIM pretendidos (Seção 3.1)

2.1 OBJETIVOS ESTRATÉGICOS

ÍTEM	OBJETIVOS	USOS
1	Modelo 2FSM para o sistema de proteção contra incêndio.	Planejamento, operação e Manutenção.
2		
3		
4		
5		
6		
7		



3. REQUISITOS DE INFORMAÇÕES DO ATIVO - AIR

Segundo a ABNT NBR ISO 19650:2022, os Requisitos de Informação do Ativo (AIR) definem as informações necessárias para a operação e manutenção de um ativo ao longo de seu ciclo de vida.

3.1 USOS PRETENDIDOS DO HBIM

Documentação geométrica	<input checked="" type="checkbox"/>	
Extração de quantitativos	<input checked="" type="checkbox"/>	
Orçamentação	<input type="checkbox"/>	
Simulação energética	<input type="checkbox"/>	
Reconstrução digital	<input checked="" type="checkbox"/>	
Divulgação	<input checked="" type="checkbox"/>	
Manutenção	<input checked="" type="checkbox"/>	
Outro:		

3.2 NÍVEL DE INFORMAÇÃO NECESSÁRIA (LOIN)

	NÍVEL DE DETALHE (ND)	NÍVEL DE INFORMAÇÃO (NI)
SISTEMA DE EXTINTORES	ND3: Geometria definida com dimensões específicas, como altura, largura e comprimento.	1. Identificação
		Código/ID
		Localização
		Pavimento - Nível
		2. Análise e Simulação
		3. Orçamento
		Descrição - Tipo, carga, capacidade extintora
		Custo unitário
		4. Planejamento/Operação e Manutenção
		Fabricante

	NÍVEL DE DETALHE (ND)	NÍVEL DE INFORMAÇÃO (NI)
S		1. Identificação
		Código/ID
		Localização
		Pavimento - Nível

SISTEMA DE HIDRANTE	ND3: Geometria definida com dimensões específicas, como altura, largura e comprimento.	2. Análise e Simulação
		3. Orçamento
		Descrição detalhada do equipamento (Tamanho)
		Custo unitário
		4. Planejamento/Operação e Manutenção
		Fabricante
		Data da instalação
		Tarefa e descrição das manutenções
		Data da última tarefa
		Data da próxima tarefa
Dias para a próxima tarefa		
Manuais técnico de manutenção		
Responsável		

SISTEMA DE DETECÇÃO E ALARME DE INCÊNDIO	NÍVEL DE DETALHE (ND)	NÍVEL DE INFORMAÇÃO (NI)
	ND3: Geometria definida com dimensões específicas, como altura, largura e comprimento.	
Código/ID		
Localização		
Pavimento - Nível		
2. Análise e Simulação		
3. Orçamento		
Descrição detalhada do detectores, central de		
Custo unitário		
4. Planejamento/Operação e Manutenção		
Fabricante		
Data da instalação		
Tarefa e descrição das manutenções		
Data da última tarefa		
Data da próxima tarefa		
Dias para a próxima tarefa		
Manuais técnico de manutenção		
Responsável		

3.3 CRONOGRAMA DE MODELAGEM

ETAPA	ATIVIDADE	DATA INICIAL	DATA DE FINALIZAÇÃO	STATUS
	SIMPLIFICAÇÃO DO MODELO ARQUITETÔNICO	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	CRIAÇÃO DE AMBIENTE COLABORATIVO	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO

Modelagem digital	INSERÇÃO DO VÍNCULO DE ARQUITETURA	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	INSERÇÃO DA NUVEM DE PONTOS	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	COPIAR/COLOBORAR NÍVEIS DO MODELO ARQUITETÔNICO	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	CRIAÇÃO DOS NÍVEIS DE PISO	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	INSERÇÃO DOS AMBIENTES/ESPAÇOS	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	ELEMENTOS DE DETECÇÃO	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	ELEMENTOS DE HIDRANTES	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	ELEMENTOS DE SINALIZAÇÃO	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	ELEMENTOS EXTINTORES	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	CRIAÇÃO DOS PARÂMETROS COMPARTILHADOS	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO

ENRIQUECIMENTO SEMÂNTICO	PREENCHIMENTO DOS ID DOS ELEMENTOS NO MODELO DIGITAL	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	PREENCHIMENTO DOS DADOS NO EXCEL	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	INSERÇÃO DOS DADOS DO EXCEL A PARTIR DO DYNAMO	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
ACERVO DOCUMENTAL	TABELAS DE QUANTITATIVOS - ELEMENTOS DE DETECÇÃO	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	TABELAS DE QUANTITATIVOS - ELEMENTOS DE HIDRANTES	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	TABELAS DE QUANTITATIVOS - ELEMENTOS DE SINALIZAÇÃO	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	TABELAS DE QUANTITATIVOS - ELEMENTOS EXTINTORES	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	PLANTA BAIXA TÉCNICA	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	VISTAS ISOMÉTRICAS	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO
	PLOTAGEM	00/00/0000	00/00/0000	CONCLUÍDO

3.4 EQUIPE HBIM

NOME	E-MAIL	FUNÇÃO
Mylene de Melo Vieira	mylene.melo@ufc.br	GERENTE
Maycon Handerson de Oliveira Bessa	mayconhob@gmail.com	COORDENADOR
Maycon Handerson de Oliveira Bessa	mayconhob@gmail.com	MODELADOR

3.5 FERRAMENTAS

PLATAFORMA	FABRICANTE	VERSÃO	ETAPA
Excel	Microsoft	Office 365	BEP
Revit©	Autodesk	2023	Modelagem
DiRootsOne	DiRoots	2.5.0	Modelagem
Dynamo©	Autodesk	2023	Documentação
Revit©	Autodesk	2023	Documentação

3.6 PADRONIZAÇÃO DE NOMENCLATURA

CATEGORIAS	ÍTEM	PADRÃO DE NOMENCLATURA
ARQUIVOS	.RVT	[Sigla do Edifício] - [Cidade] - [Fase] - [Disciplina] - [Revisão]
	PDF (Documentação)	[Sigla do Edifício] - [Cidade] - [Fase] - [Disciplina] - [Número de Pranchas] - [Revisão]
MODELAGEM	ELEMENTOS DE DETECÇÃO	[Edificação]_[Nível]_[Ambiente]_[Tipo de Sistema]_[Elemento (grupo)]_[Elemento (específico)]
	ELEMENTOS DE HIDRANTES	[Edificação]_[Nível]_[Ambiente]_[Tipo de Sistema]_[Elemento (grupo)]_[Elemento (específico)]
	ELEMENTOS DE SINALIZAÇÃO	[Edificação]_[Nível]_[Ambiente]_[Tipo de Sistema]_[Elemento (grupo)]_[Elemento (específico)]
	ELEMENTOS EXTINTORES	[Edificação]_[Nível]_[Ambiente]_[Tipo de Sistema]_[Elemento (grupo)]_[Elemento (específico)]

3.7 ESPECIFICAÇÕES DE MODELAGEM

ELEMENTO		ESPECIFICAÇÃO	
M O D E L A G E M	Sistema de extintores	<input checked="" type="checkbox"/>	Extintor na parede - Carga de CO2 - 6Kg 5-BC
		<input checked="" type="checkbox"/>	Extintor na parede - Carga de Pó BC - 04Kg 20-BC
		<input checked="" type="checkbox"/>	Extintor na parede - Carga de Pó BC - 12Kg 40-BC
		<input checked="" type="checkbox"/>	Extintor na parede - Carga de Água - 10L 2-A
		<input checked="" type="checkbox"/>	Extintor no piso - Carga de CO2 - 6Kg 5-BC
		<input checked="" type="checkbox"/>	Extintor no piso - Carga de Pó BC - 12Kg 40-BC
		<input checked="" type="checkbox"/>	Extintor no piso - Carga de Água - 10L 2-A
		<input checked="" type="checkbox"/>	Extintor sobre rodas: Carga de CO2 - 25Kg 10-BC
		<input checked="" type="checkbox"/>	Extintor sobre rodas: Carga de Pó BC - 50Kg 80-BC
	Sistema de Hidrantes	<input checked="" type="checkbox"/>	Hidrante simples 60x90x17 - 2x15m
	Sistema de Detecção e alarme	<input checked="" type="checkbox"/>	Detector de fumaça
		<input checked="" type="checkbox"/>	Detector de temperatura
		<input checked="" type="checkbox"/>	Central de alarme
<input checked="" type="checkbox"/>		Acionador manual e sirene	
FAMI. HBIM	Elementos especiais	<input checked="" type="checkbox"/>	MODELAGEM MANUAL
		<input type="checkbox"/>	MODELAGEM SEMIAUTOMÁTICA



4. REQUISITOS DE TROCA DE INFORMAÇÕES - EIR

De acordo com a ABNT NBR ISO 19650:2022, os Requisitos de Troca de Informações (EIR) são responsáveis por detalhar como as informações devem ser geradas e compartilhadas.

4.1 REPOSITÓRIO

Onedrive	[Link da Pasta da Edificação]
----------	-------------------------------

4.2 FREQUÊNCIA DE ATUALIZAÇÃO DOS ARQUIVOS

ETAPA	FASE	FORMATO	FREQUÊNCIA
CRONOGRAMA	-	.pdf	-
MODELO DIGITAL	Configuração Inicial	.rvt	-
	Preparação do ambiente	.rvt	
	Modelagem dos sistemas	.rvt	
	Criação de famílias HBIM	.rvt	
ENRIQUECIMENTO SEMÂNTICO	Integração das informações referentes às atividades de manutenção	.rvt	-
ACERVO DOCUMENTAL	Pranchas e arquivos diversos (Modelo 2FSM, Planilha de equipamentos criticos)	.rvt; .pdf	-

4.3 COMUNICAÇÃO

CANAL	FUNÇÃO	FREQUÊNCIA			RESPONSÁVEL
		DIA.	SEM.	QUINZ.	
E-MAIL	Comunicados oficiais	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-
WHATSAPP	Comunicação rápida	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-
GOOGLE MEET	Reuniões de transparência	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-

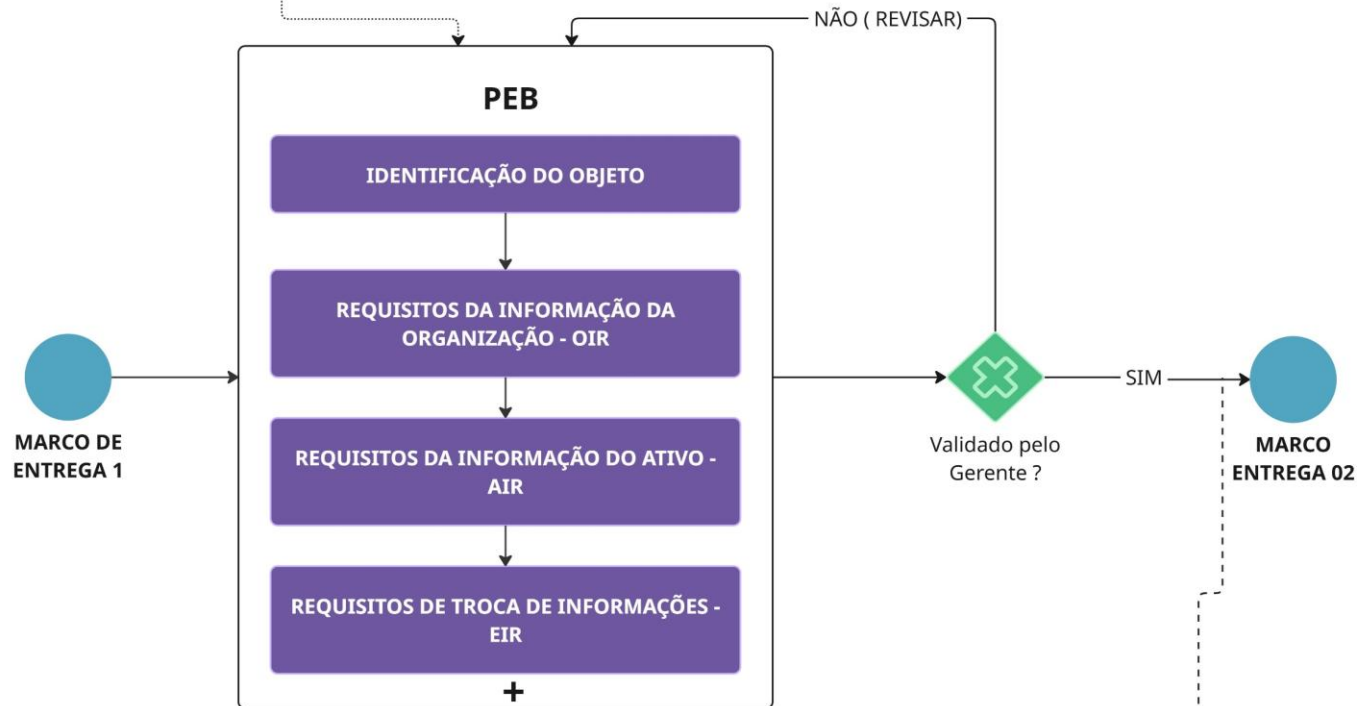
APÊNDICE B – PROTOCOLO BPMN PARA O DESENVOLVIMENTO DO S2FM

ELABORAÇÃO DO PEB - ETAPA 02 DO PROCESSO DE MODELAGEM S2FM

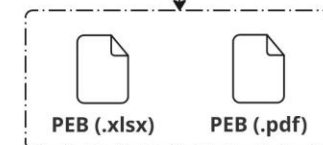
REFERÊNCIA DE
INFORMAÇÃO



PROCESSO



DADOS DE
SAÍDA

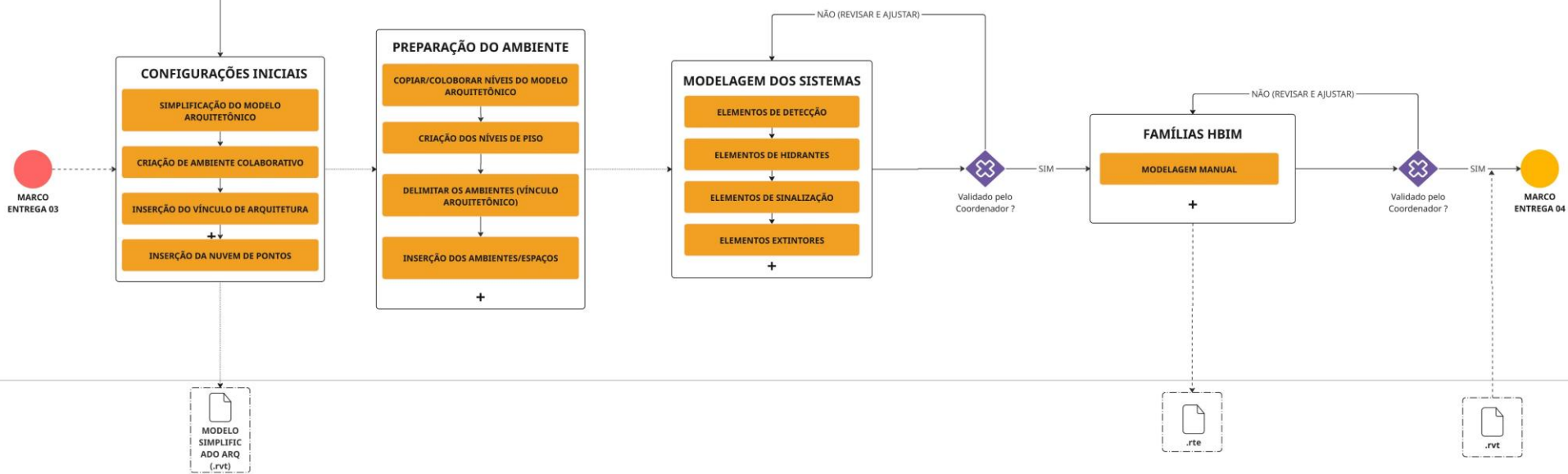


MODELO DIGITAL - ETAPA 04 DO PROCESSO DE MODELAGEM S2FM

REFERÊNCIA DE INFORMAÇÃO



PROCESSO



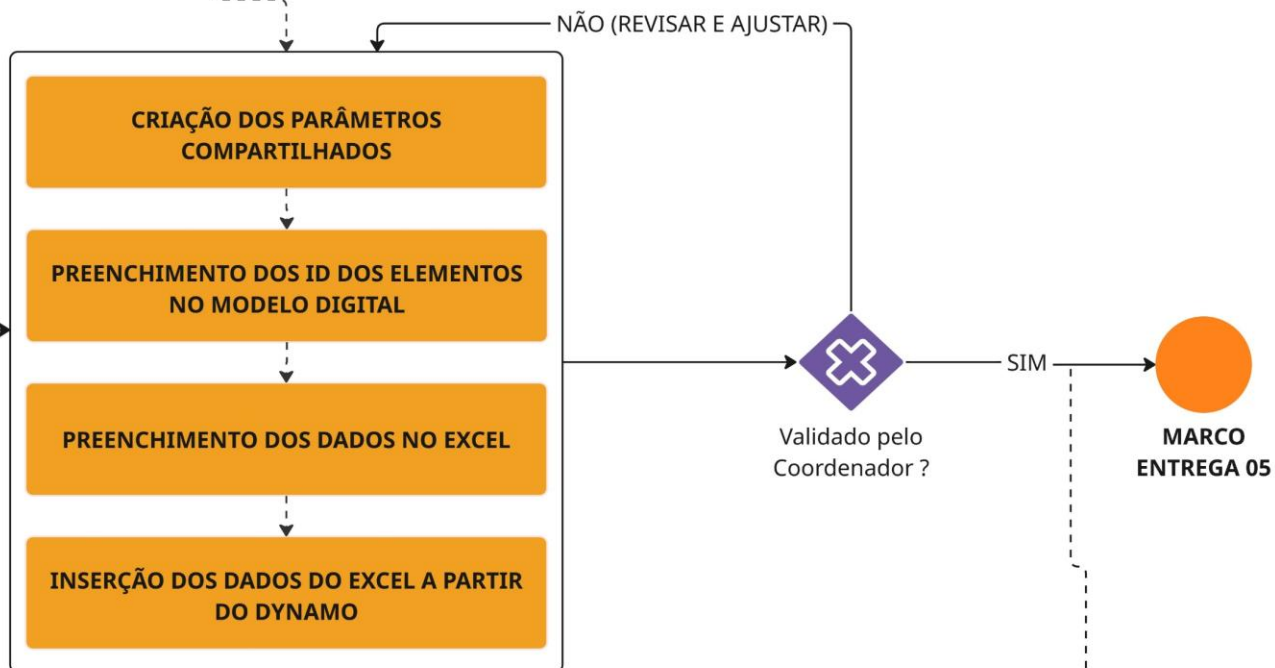
ENRIQUECIMENTO SEMÂNTICO – ETAPA 05 DO PROCESSO DE MODELAGEM S2FM

REFERÊNCIA DE INFORMAÇÃO

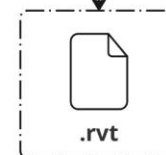
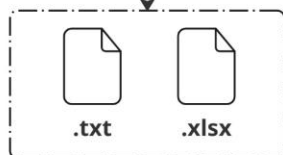


PROCESSO

MARCO ENTREGA 04



DADOS DE SAÍDA

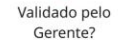
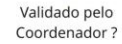
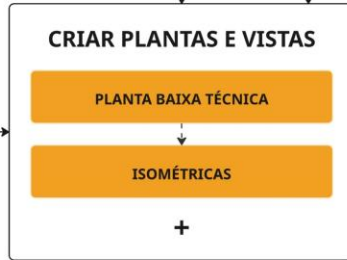


ACERVO DOCUMENTAL – ETAPA 06 DO PROCESSO DE MODELAGEM S2FM

REFERÊNCIA DE INFORMAÇÃO



PROCESSO



NÃO (REVISAR E AJUSTAR)

DADOS DE SAÍDA

