

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA E URBANISMO
Curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e
Produtos**

Luana Vieira Pimenta

**GÊMEO DIGITAL NA PREVENÇÃO E COMBATE
AO INCÊNDIO NO PATRIMÔNIO**

Belo Horizonte
2023

Luana Vieira Pimenta

**GÊMEO DIGITAL NA PREVENÇÃO E COMBATE
AO INCÊNDIO NO PATRIMÔNIO**

Monografia apresentada ao Programa de Pós Graduação da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Cidades, Edificações e Produtos.

Área de concentração: Orientador: Paulo Von Kruguer

Belo Horizonte
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA - EAUFMG
Rua Paraíba, 697 – Funcionários
30130-140 – Belo Horizonte – MG - Brasil

Telefone: (031) 3409-8823

FAX (031) 3409-8822

**ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DE
TRABALHO DE MONOGRAFIA DA ALUNA LUANA VIEIRA
PIMENTA, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO
CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM
SUSTENTABILIDADE EM CIDADES, EDIFICAÇÕES E PRODUTOS**

Às dezenove horas do dia treze de novembro de 2023, reuniu-se remotamente, por meio da plataforma *Google Meet*, a Comissão Examinadora composta pelo professor Dr. Paulo Gustavo von Krüger, Orientador-Presidente, e pela professora Dra. Cynara Fiedler Bremer, designados pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos para avaliação da monografia intitulada "Gêmeo digital na prevenção e combate a incêndio no patrimônio", de autoria da aluna Luana Vieira Pimenta, como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos. A Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu pela sua aprovação, atribuindo-lhe a nota 85 (oitenta e cinco) e ressaltando que a mesma deverá ser ajustada conforme as orientações da Comissão Examinadora em um prazo máximo de 30 dias, atendendo, assim, às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso. A Comissão recomenda também que seja encaminhado um exemplar da monografia para a Biblioteca da Escola de Arquitetura. Às vinte horas o Presidente deu por encerrada a reunião. Belo Horizonte, 13 de novembro de 2023.

Professor Dr. Paulo Gustavo von Krüger
Presidente/UFMG

Professora Dra. Cynara Fiedler Bremer
Membro/UFMG

RESUMO

Os avanços tecnológicos, especialmente na arquitetura e engenharia, permitem a análise do comportamento de objetos físicos, processos e sistemas em ambientes digitais. Isso torna possível visualizar o projeto em várias etapas e realizar simulações, monitoramento e gerenciamento do desempenho do edifício após a construção.

Na prevenção e combate a incêndios no patrimônio, Belo Horizonte, que abriga um grande número de edificações tombadas, possui normas e regulamentos que visam garantir sua segurança mínima aceitável e preservação, mas que ainda se mostram insuficientes.

O uso da tecnologia é proposto neste trabalho como forma de auxiliar e otimizar o planejamento de estratégias, identificando possíveis pontos de ignição, rotas de fugas e áreas de risco no Conjunto Governador Kubitschek, mais conhecido como Edifício JK situado em Belo Horizonte, Minas Gerais.

PALAVRAS-CHAVE: TECNOLOGIA; EDIFÍCIOS INTELIGENTES; GÊMEO DIGITAL; PATRIMÔNIO; PREVENÇÃO E COMBATE A INCÊNDIO.

ABSTRACT

Technological advances, especially in architecture and engineering, allow the analysis of the behavior of physical objects, processes and systems in digital environments. This makes it possible to visualize the project at various stages and perform simulations, monitoring and management of building performance after construction.

In the prevention and fight against fires in the heritage, Belo Horizonte, which is home to a large number of listed buildings, has several rules and regulations to guarantee their safety and preservation, which are still ineffective.

The use of technology is proposed in this work as a way to help the planning of effective strategies, identifying possible ignition points, escape routes and risk areas in Conjunto Governador Kubitschek, better known as Edifício JK located in Belo Horizonte, Minas Gerais.

KEYWORDS: TECHNOLOGY; SMART BUILDINGS; DIGITAL TWIN; PATRIMONY; FIRE PREVENTION AND FIGHTING.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------|---|
| ARICA | Análise do Risco de Incêndio em Centros Urbanos Antigos (Arica). |
| AVCB | Auto de Vistoria do corpo de bombeiros |
| BIM | Building Information Modeling |
| FDS | Fire Dynamics Simulator |
| IFC | Industry Foundation Classes |
| IoT | Internet das Coisa |
| IHGMG | Instituto Histórico e Geográfico de Minas Gerais |
| IPHAN | Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional |
| ISO | International Organization for Standardization |
| JK | Conjunto Governador Kubitschek |
| LNEC | Laboratório Nacional de Engenharia Civil |
| LOD | Level of Development |
| NFPA | National Fire Protection Association |
| NBR | Norma Brasileira |
| NFPA | National Fire Protection Association |
| UFMG | Universidade Federal de Minas Gerais |
| UNESCO | Patrimônio Mundial pela Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultural |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 - Vista 3d do Edifício JK | 31 |
| FIGURA 2 - Implantação Edifício JK | 32 |
| FIGURA 3 - Planta Térreo Edifício JK | 33 |
| FIGURA 4 - Segundo Pavimento Edifício JK | 34 |
| FIGURA 5 - Segundo Pavimento Edifício JK | 35 |
| FIGURA 6 - Isométrica Explodida JK | 37 |
| FIGURA 7 - Levantamento CAD para Revit | 50 |
| FIGURA 8 - Levantamento CAD para Revit | 50 |
| FIGURA 9 - Modelo 3d convertido para FDS | 40 |
| FIGURA 10 - Modelo 3d convertido para FDS | 51 |
| FIGURA 11 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A | 52 |
| FIGURA 12 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A | 53 |
| FIGURA 13 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A | 53 |
| FIGURA 14 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A | 54 |
| FIGURA 15 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A | 54 |
| FIGURA 16 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A | 55 |
| FIGURA 17 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A | 55 |
| FIGURA 18 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A | 56 |
| FIGURA 19 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A | 56 |
| FIGURA 20 - Simulação de Incêndio Térreo Bloco B | 57 |
| FIGURA 21 - Simulação de Incêndio Térreo Bloco B | 57 |
| FIGURA 22 - Simulação de Incêndio Térreo Bloco B | 58 |
| FIGURA 23 - Simulação de Incêndio Térreo Bloco B | 58 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 24 - Simulação de Incêndio Térreo Bloco B | 59 |
| FIGURA 25 - Cálculo da Carga de Ocupação do ambiente Planta tipo Bloco A | 60 |
| FIGURA 26 - Cálculo da Carga de Ocupação do ambiente Planta tipo Bloco B | 60 |
| FIGURA 27 - Automação no Dynamo - Distância mais longa até a saída | 61 |
| FIGURA 28 - Distância mais longa até a saída Planta tipo Bloco A | 61 |
| FIGURA 29 - Distância mais longa até a saída Planta tipo Bloco B | 62 |
| FIGURA 30 - Distância mais longa até a saída Térreo Bloco | 62 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| QUADRO 1 - Classificação da edificação quanto a compatibilização | 19 |
| QUADRO 2 - fator c - combustibilidade | 19 |
| QUADRO 3 - fator k - perigo de corrosão/toxidade (Co) | 20 |
| QUADRO 4 - Elementos de fachada e cobertura | 20 |
| QUADRO 5 - Fator g - Amplidão da superfície, de acordo com a relação comprimento/largura | 21 |
| QUADRO 6 - Fator n1 - extintores portáteis | 22 |
| QUADRO 7 - Fator n2 - hidrantes de parede | 22 |
| QUADRO 8 Fator n3 - abastecimento de água | 23 |
| QUADRO 9 Fator n4 - distância entre a edificação e o hidrante urbano | 23 |
| QUADRO 10 Fator n5 - pessoal instruído | 23 |
| QUADRO 11 Fator s1 - detecção do fogo | 24 |
| QUADRO 12 Fator s2 - detecção do fogo | 24 |
| QUADRO 13 Fator s3 - detecção do fogo | 24 |

| | |
|--|----|
| QUADRO 14 Fator s4 - escalões de intervenção dos bombeiros oficiais | 26 |
| QUADRO 15 Fator s5 - instalações de extinção | 26 |
| QUADRO 16 Instalações automáticas de evacuação de calor e fumaça | 26 |
| QUADRO 17 Instalações automáticas de evacuação de calor e fumaça | 27 |
| QUADRO 18 Fator f2 - fachadas | 27 |
| QUADRO 19 Fator f3 - lajes | 28 |
| QUADRO 20 Fator f4 - células corta-fogo | 28 |
| QUADRO 21 - Tabela de Cálculo do Método Gretener Bloco B | 38 |
| QUADRO 22 - Tabela de Cálculo do Método Gretener Bloco A | 39 |
| QUADRO 23 - Tabela de Cálculo do Método Arica - Condições Iniciais | 42 |
| QUADRO 24 - Tabela de Cálculo do Método Arica - Condições de Projeto | 46 |

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|-------------------------------------|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| | Importância e Justificativa do Tema | 11 |
| 2 | OBJETIVOS | 13 |
| 2.1 | Objetivo Geral | 13 |
| 2.2 | Objetivos específicos | 13 |
| 2.3 | Estrutura da Dissertação | 14 |
| 3 | DESENVOLVIMENTO | 15 |
| 3.1 | Normas e Regulamentos | 15 |
| 3.2 | Comportamento do Fogo | 15 |
| 3.3 | Gêmeo Digitais | 16 |
| 3.4 | Gestão de risco | 17 |
| 3.5.1 | Método Gretener | 18 |
| 3.5.2 | Método Arica | 29 |
| 3.5 | Simulação de Incêndio | 30 |
| 3.5.1 | Simulação de Incêndio com o PyroSim | 31 |
| 4. | ESTUDO DE CASO | 31 |
| 4.1 | Análise de Risco de incêndio | 38 |
| 4.1.2 | Método Arica | 38 |
| 4.2 | Modelagem 3d e simulação no Pyrosim | 41 |
| 4.2.1 | Automação no Revit | 49 |
| 4.2.2 | Desenvolvimento do Script | 59 |
| 5. | Resultados | 63 |
| 6. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 64 |
| | REFERENCIAS | 65 |

1 INTRODUÇÃO

Importância e Justificativa do Tema

Este estudo tem como objetivo fazer uma análise sobre o uso da tecnologia computacional na construção civil, evidenciar o valor do patrimônio histórico, e discutir sobre a efetividade das normas de prevenção e combate a incêndio em edificações tombadas, abordando os riscos associados à perda dessas edificações.

Tendo em vista os avanços tecnológicos no campo da construção civil no Brasil, de acordo com Cruz (2021) embora seja um processo gradual, têm-se adotado o uso de novas tecnologias em várias etapas do processo da construção.

Ainda segundo o mesmo autor, parte desse avanço tem acontecido por meio da metodologia Building Information Modeling (BIM), a qual permite projetar edifícios em um ambiente virtual integrado possibilitando a detecção de possíveis problemas antes da construção, e a utilização de recursos e sistemas de monitoramento em edificações existentes permitindo o monitoramento do desempenho do edifício em tempo real, identificando assim possíveis problemas favorecendo a adoção de medidas para corrigi-los.

Segundo Eastman, Teicholz, Sacks e Liston (2018) para criar um modelo digital 3D preciso e detalhado de uma edificação existente no software BIM, é necessário realizar a digitalização da construção que pode ser feita através de técnicas como a fotogrametria ou a varredura a laser.

Com o modelo gerado, é possível realizar simulações de desempenho do edifício em diferentes condições, como a prevenção e combate a incêndio em patrimônios arquitetônicos. Neles poderão ser analisados o comportamento do fogo e fumaça, pontos de ignição, rotas de fuga, áreas de risco além da familiarização do layout do edifício pelo corpo de bombeiros, Junior (2020).

Sabe-se sobre a importância da preservação e valorização do patrimônio para a manutenção da história e da cultura de um povo. Segundo Bandarin e Van Oers (2012) o patrimônio histórico é composto por bens culturais e materiais que possuem um valor histórico, artístico, cultural, científico ou social, que são considerados de extrema importância para a identidade e memória de uma comunidade.

Com base nas informações trazidas pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Cultural, a preservação e valorização do patrimônio histórico envolve uma série de medidas, sobretudo a conservação e restauração de edifícios e monumentos históricos.

De acordo com Graham e Howard (2008) essas medidas são essenciais para garantir a preservação e transmissão da história e da cultura de um povo para as gerações futuras, sobretudo por ter um impacto positivo na economia local, atraindo turistas e gerando empregos.

Lowenthal (1998) destaca que o patrimônio histórico pode ser um importante recurso para o desenvolvimento econômico, desde que seja preservado de forma adequada

e responsável. Por outro lado, a negligência ou destruição do patrimônio pode levar à perda irreparável de bens culturais e materiais valiosos.

As edificações tombadas podem apresentar riscos adicionais em caso de incêndio, devido à sua idade avançada e ao uso de materiais de construção e técnicas obsoletas. Onde muitas dessas edificações possuem instalações elétricas degradadas e sistemas de combate a incêndio inadequados, o que aumenta o risco de propagação do fogo.

Conforme exemplificado por Claret de Gouveia (2006) a noção de perigo de incêndio e risco de incêndio podem ser confundidos, sendo que o primeiro sempre existirá, pois as fontes de calor e oxigênio são abundantes em qualquer lugar. Já o risco envolve a probabilidade de que um incêndio se desenvolva.

Ribeiro (2019) aborda que, embora existam iniciativas em andamento para melhorar a indubitabilidade da prevenção e combate a incêndios no país, como investimentos em infraestrutura e equipamentos de segurança, e aprimoramento dos sistemas de fiscalização e controle, o Brasil ainda enfrenta desafios na efetividade da prevenção e combate a incêndios, apesar da existência de normas e regulamentos que estabelecem as diretrizes e procedimentos a serem seguidos, Minervino (2023) completa quando nos diz que as exigências legais para o projeto de incêndio são, geralmente, o principal parâmetro utilizado por arquitetos e engenheiros ao dimensionar seus projetos.

Dito isso, essa abordagem integrada torna-se um assunto estratégico na análise de gestão de risco de incêndios, e se justifica pois permite prevenir a perda de bens culturais valiosos, através de uma análise específica e objetiva para cada edificação levando em conta suas características específicas e seu uso, garantindo a segurança das pessoas envolvidas nesses espaços, além de permitir uma melhor compreensão dos sistemas envolvidos na gestão de risco.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um estudo sobre como a tecnologia pode ser utilizada para prevenir e combater incêndios em patrimônios culturais gerando um modelo tridimensional para análises de riscos.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar as normas e regulamentos de segurança contra incêndio em edificações que compõem o patrimônio cultural
- Contextualizar o Edifício JK
- Aprimorar o entendimento do uso de tecnologias computacionais para a obtenção de novas formas de análise de risco de incêndio
- Avaliar as simulações de incêndio em um modelo 3D BIM.

2.3 Estrutura da Dissertação

O estudo foi desenvolvido em duas etapas distintas. Na primeira, foram abordados os conceitos pertinentes ao tema e o levantamento de dados do edifício JK, permitindo identificar uma área conflituosa e mais suscetível em caso de incêndio.

Na segunda etapa, foram realizadas simulações através de softwares e métodos específicos, abordados na etapa anterior.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Normas e Regulamentos

As normas que regulamentam a prevenção e combate a incêndios no patrimônio em Minas Gerais são diversas. Entre elas estão a Lei nº 14.130, de 19/12/2001, que dispõe sobre a prevenção contra incêndio e pânico no Estado e estabelece regras para as atividades de fiscalização das medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público. As NBR 12693, (Sistema de Proteção por Extintores de Incêndio), 13434 (Sinalização de Emergência), 14276 (Brigadas de Incêndio) 15575 (Desempenho de Edificações Habitacionais), 14432 (Exigência de resistência ao fogo de elementos de construção de edificações – Procedimento), entre outras, e a Instrução Técnica (IT-35) do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (que é um documento que estabelece os procedimentos técnicos mínimos aceitáveis a serem adotados pelos responsáveis pela elaboração e execução dos projetos de prevenção e combate a incêndio em edificações que compõem o patrimônio cultural de Minas Gerais.)

A IT - 35 define que a severidade máxima provável admissível de um incêndio em uma edificação que compõe o patrimônio histórico mineiro se caracteriza pela manutenção de condições ambientais de sustentabilidade da vida humana por um tempo suficiente para a fuga dos seus ocupantes e a realização das operações de salvamento e combate a incêndio em condições de segurança, pela ausência do colapso estrutural de partes determinadas da edificação e por certa extensão admissível de danos à edificação e a seu conteúdo, bem como às edificações adjacentes e à infra-estrutura pública.

Gouvêa (2004) complementa, abordando que o risco máximo aceitável varia de acordo com fatores de natureza política, social e econômica. “No caso de sítios históricos tombados, o risco máximo aceitável deve refletir a importância do acervo e progressivamente deve atingir o limite inferior permitido pelo estado atual da técnica”.

3.2 Comportamento do Fogo

A definição de Minervino (2023) descreve o fogo como uma reação química que ocorre quando uma substância combustível, como madeira, papel, tecido, borracha, óleo, entre outros, é aquecida e entra em contato com o ar, resultando na emissão de luz e calor de forma sustentável. Entender o comportamento do fogo em incêndios é fundamental para a prevenção e o combate a incêndios, tornando possível desenvolver estratégias eficazes para minimizar os riscos de incêndios e para proteger a vida humana e o patrimônio material e cultural.

O entendimento aprofundado desse comportamento abrange diversos fatores cruciais, incluindo a propagação das chamas, a formação de fumaça, o aquecimento e a ignição dos materiais combustíveis, entre outros. Minervino (2023)

Segundo a National Fire Protection Association (NFPA), o incêndio é definido como "um evento não planejado que envolve a queima de materiais combustíveis e que

pode colocar em risco a vida humana, a propriedade e o meio ambiente" (NFPA 921: Guide for Fire and Explosion Investigations, 2021).

Durante um incêndio, o fogo pode variar dependendo de vários fatores, como a quantidade e o tipo de material combustível presente, a temperatura e a umidade do ambiente, a presença de oxigênio e a disponibilidade de combustível para sustentar as chamas. National Fire Protection Association (op. cit.)

Alguns dos principais comportamentos do fogo em incêndios com base na National Fire Protection Association (op. cit.) incluem:

Propagação das chamas: o fogo pode se espalhar através do contato direto das chamas com materiais combustíveis, ou através da radiação térmica e da condução do calor para outros materiais próximos.

Formação de fumaça: a queima de materiais combustíveis produz gases e partículas que se acumulam no ambiente na forma de fumaça, reduzindo a visibilidade e a qualidade do ar e aumentando o risco de asfixia.

Aquecimento dos materiais: a alta temperatura das chamas pode aquecer os materiais combustíveis próximos, tornando-os mais suscetíveis à ignição e à propagação do fogo.

Ignição dos materiais combustíveis: materiais combustíveis podem entrar em combustão espontânea ou serem inflamados por fontes de calor próximas, dando início ao incêndio.

3.3 Gêmeo Digitais

Com base nas informações trazidas por Dawood (2020) Digital Twins, ou Gêmeos Digitais, são modelos virtuais em tempo real de um objeto físico, processo ou sistema para representar respectivamente o passado e o presente e prever e simular o futuro.

Kensek e Noble (2008) discutem como na indústria da construção civil, o gêmeo digital tem o potencial de romper o tradicional modelo de gestão da informação baseado em silos para um modelo integrado centrado em dados. Eles são criados a partir de dados coletados por sensores e outros dispositivos conectados à Internet das Coisas (IoT), e podem ser usados para simular o comportamento, o desempenho e as interações do objeto físico no mundo real.

Para Jones, (2021) Digital Twins têm o potencial de revolucionar a forma como projetos são concebidos, construídos e gerenciados, e estão sendo vistos como a próxima etapa da evolução tecnológica após o BIM.

Ainda de acordo com Jones, (op. cit.) ,O BIM é uma tecnologia de modelagem 3D que tem sido amplamente adotada na indústria da construção nos últimos anos, e que permitiu a criação de modelos detalhados de edifícios e outras estruturas. No

entanto, o BIM é uma tecnologia estática, que não leva em consideração o comportamento dinâmico do objeto físico.

Já os Digital Twins permitem que os modelos sejam atualizados em tempo real com dados de sensores, tornando possível a análise de desempenho, a previsão de falhas e a otimização do uso e manutenção do objeto físico. Jones, (op. cit.).

Para gerar um gêmeo digital detalhado e preciso de um prédio, é necessário coletar uma grande quantidade de dados sobre a sua construção, localização, uso, desempenho e manutenção. Esses dados podem ser obtidos a partir de projetos arquitetônicos, dados de sensores, sistemas de monitoramento e manutenção, históricos de consumo de energia entre outros. Jones, (op. cit.).

A coleta e integração desses dados podem ser realizadas por meio de softwares de modelagem e simulação, que permitem criar um modelo virtual 3D do prédio e incorporar informações em tempo real para gerar um gêmeo digital atualizado. Para garantir a precisão dos dados coletados e a validade do modelo, é importante garantir a qualidade e a consistência dos dados em todas as etapas do processo.

Além disso, a geração de um gêmeo digital detalhado e preciso pode ser beneficiada pela utilização de tecnologias como a realidade aumentada, que permitem visualizar e interagir com o modelo virtual em tempo real, facilitando a identificação de problemas e a tomada de decisões.

3.4 Gestão de risco

De acordo com a ISO 31000, gestão de risco é um processo que visa identificar, avaliar e gerenciar riscos para minimizar ou eliminar os impactos negativos potenciais em uma organização ou projeto. A gestão de risco é um processo contínuo que envolve a identificação e análise dos riscos, seguida da seleção e implementação de medidas para controlar e monitorar os riscos identificados.

A gestão de risco envolve uma série de etapas, incluindo a identificação de perigos e riscos, a avaliação dos riscos identificados, o desenvolvimento de estratégias para gerenciar e controlar os riscos, a implementação de medidas de mitigação de risco e a monitoração e revisão contínua do processo de gestão de risco.

O cenário de um incêndio é composto pelos seguintes elementos: hipótese sobre o início do incêndio; conjunto de medidas inibidoras; conjunto de medidas favoráveis; hipótese de comportamento de usuários; hipótese de propagação.

Para complementar, a NFPA, aborda conceitos sobre a gestão de risco no combate a incêndios e diz que é impossível prever com precisão quando e onde um incêndio pode ocorrer sem uma boa gestão de risco. Ela envolve a identificação dos riscos associados ao incêndio, avaliação da gravidade, probabilidade desses riscos e a implementação de medidas para minimizar ou eliminar os riscos identificados.

3.4.1 Método Gretener

O método de Gretener foi desenvolvido pelo engenheiro Max Gretener, em 1960. Ele utilizou algumas tabelas para determinar o nível de segurança de um edifício ou um compartimento de uma edificação. De acordo com Minervino, (2020) ele hoje é um dos métodos mais completos de análise.

A análise pelo Método de Gretener considera o tipo de conceito da edificação, o perigo potencial do edifício, seu conteúdo e as medidas contra o desenvolvimento do incêndio (normais, especiais e de construção). Estes fatores são a base para determinar o risco de incêndio efetivo.

As variáveis e tabelas abaixo foram extraídas do Manual de uso do Método Gretener disponibilizado por Minervino, Bernadette, em 2020.

Tipos de construção

São classificadas em (Z, G ou V). Essas classificações levam em conta a disposição dos compartimentos e o nível de isolamento entre eles, conforme especificado no quadro abaixo.

QUADRO 1 - Classificação da edificação quanto a compatibilização

| Classificação da Edificação | Classificação da Edificação quanto a compatibilização Compartimentação | Observações |
|-----------------------------|---|---|
| Z | Construção em células de, no máximo, 200m ² | Esta construção torna mais difícil a propagação horizontal e vertical do incêndio, pois isola os ambientes da edificação em células com paredes resistentes ao fogo. Para ser classificada como tipo Z, a edificação deve ter suas escadas, dutos técnicos e demais ligações verticais devidamente enclausuradas. |
| G | Construção em grande superfície (compartimentos com mais de 200m ²) | Esta construção torna mais fácil a propagação horizontal do incêndio, por ser feita com grandes vãos, mas dificulta a propagação vertical, por ter isolamento entre os pavimentos com lajes resistentes ao fogo. Para ser classificada como tipo G, a edificação deve ter suas escadas, dutos técnicos e demais ligações verticais devidamente enclausuradas. |
| V | Construção em grande volume | Esta construção torna mais fácil a propagação horizontal e vertical, por se tratar de grandes vãos sem compartimentação efetiva, não oferecendo obstáculos à propagação do fogo e da fumaça. A presença de átrios, escadas não enclausuradas, galerias abertas ou outros espaços internos ou fachadas que facilitem a propagação entre os andares, bem como a falta de compartimentação horizontal já podem ser parâmetros para a classificação da edificação como V. Também são classificadas neste grupo todas as edificações que não se encaixem nos grupos Z e G. |

Fonte: (UC, 2019a)

- **Dimensões características do compartimento de incêndio**

Os dados de dimensões perimetrais e área total são importantes e serão usados em etapas posteriores. A largura e comprimento característicos são definidos como as maiores medidas dentro do cômodo, excluindo reentrâncias e protuberâncias menores.

- **Levantamento dos perigos potenciais**

Os perigos potenciais relacionados a um incêndio em uma edificação são influenciados por suas características construtivas e conteúdo. São considerados sete fatores de risco na análise: três relacionados ao conteúdo da edificação e quatro ao tipo de construção. Esses fatores têm um papel importante no risco de ocorrência e propagação de incêndios no local.

- **Perigo inerente ao conteúdo da edificação**

O perigo inerente ao conteúdo da edificação é uma avaliação do risco associado aos materiais armazenados dentro dela e como eles se comportam em relação ao fogo.

Os valores para cada parâmetro são tabelados para cada tipo de material, conforme a Tabela 1 em anexo.

- **Fator q: carga incêndio mobiliária (Qm)**

Esse fator quantifica a taxa de liberação de calor com base nos materiais presentes no compartimento. Os valores da carga incêndio mobiliária são determinados de acordo com a Tabela 1.

- **Fator c: combustibilidade (Fe)**

Esse fator quantifica a inflamabilidade e velocidade de combustão dos materiais.

QUADRO 2 - fator c – combustibilidade

| Combustibilidade do material | Grau de combustibilidade | fator c |
|-----------------------------------|--------------------------|---------|
| altamente inflamável | 1 | 1,60 |
| facilmente inflamável | 2 | 1,40 |
| inflamável/facilmente combustível | 3 | 1,20 |
| normalmente combustível | 4 | 1,00 |
| difícilmente combustível | 5 | 1,00 |
| incombustível | 6 | 1,00 |

Fonte: (UC, 2019a)

- **Fator r: enfumaçamento (Fu)**

Esse fator quantifica a liberação de fumaça dos materiais durante a queima.

QUADRO 6 - fator r - enfumaçamento

| Opacidade (ensaio) | Perigo devido à fumaça | fator r |
|--------------------|------------------------|---------|
| 3 | normal | 1,00 |
| 2 | médio | 1,10 |
| 1 | alto | 1,20 |

Fonte: (UC, 2019a)

- **Fator k: corrosão/toxidade (Co)**

Esse fator quantifica a liberação de gases corrosivos e tóxicos dos materiais durante a queima.

QUADRO 3 - fator k - perigo de corrosão/toxidade (Co)

| Grau de perigo | fator k |
|----------------|---------|
| normal | 1,00 |
| médio | 1,10 |
| grande | 1,20 |

Fonte: (UC, 2019a)

O cálculo do perigo inerente ao conteúdo é dado pela multiplicação de todos os parâmetros correspondentes.

- **Pe= fator i x fator e x fator g**
- **Perigo inerente ao tipo de construção**

O perigo inerente ao tipo de construção da edificação envolve a avaliação do risco associado ao material utilizado nos elementos de construção do edifício, como estrutura e fachadas, e como esses materiais se comportam em relação ao fogo. Os valores para cada parâmetro são tabelados para cada tipo de material, permitindo uma análise detalhada do potencial impacto do tipo de construção em caso de incêndio.

- **Fator i: carga incêndio imobiliária (i)**

O fator i reflete a combustibilidade da estrutura resistente da edificação (vigas, pilares e paredes), dos elementos de fachada não resistentes (vidros e janelas) e das camadas de isolamento combustível no teto de edificações térreas.

QUADRO 4 - Elementos de fachada e cobertura

| Estrutura resistente | Elementos de fachada e cobertura | | |
|---|--|---|---|
| | Incombustível: betão (concreto), tijolo, aço ou outro material incombustível | Combustível protegido: em camadas, sendo a camada externa incombustível | Combustível: madeira e materiais sintéticos |
| Incombustível: betão (concreto), tijolo, aço ou outro material incombustível | 1,00 | 1,05 | 1,10 |
| construção em madeira: F30 cb, madeira com revestimento F30, madeira maciça, madeira revestida, madeira laminada colada | 1,10 | 1,15 | 1,20 |
| construção em madeira leve | 1,20 | 1,25 | 1,30 |

Fonte: (UC, 2019a)

- **Fator e: nível do piso (e)**

O fator E estabelece o risco de acordo com a altura da edificação. As tabelas são distintas para edificações térreas, com múltiplos pavimentos ou com subsolo. O uso adequado das tabelas é determinado pelo pavimento que está sendo analisado.

QUADRO 9 - Nível do piso para edifícios de múltiplos pavimentos

| Pavimento | Cota de nível (m) | fator e |
|-----------|-------------------|---------|
| térreo | 0 | 1,00 |
| 1º | < 4 | 1,00 |
| 2º | < 7 | 1,30 |
| 3º | < 10 | 1,50 |
| 4º | < 13 | 1,65 |
| 5º | < 16 | 1,75 |
| 6º | < 19 | 1,80 |
| 7º | < 22 | 1,85 |
| 8º | < 25 | 1,90 |
| 11º | < 34 | 2,00 |

Fonte: (UC, 2019a)

- **Fator g: amplidão da superfície (g)**

O fator g determina o risco com base na área e na relação comprimento / largura da superfície do compartimento analisado.

QUADRO 5 - Fator g - Amplidão da superfície, de acordo com a relação comprimento/largura

| | relação comprimento/largura do compartimento de incêndio | | | | | | | | fator g |
|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---------|
| | 8:1 | 7:1 | 6:1 | 5:1 | 4:1 | 3:1 | 2:1 | 1:1 | |
| 800 | 770 | 730 | 680 | 630 | 580 | 500 | 400 | 0,40 | |
| 1200 | 1150 | 1090 | 1030 | 950 | 870 | 760 | 600 | 0,50 | |
| 1600 | 1530 | 1450 | 1370 | 1270 | 1150 | 1010 | 800 | 0,60 | |
| 2000 | 1900 | 1800 | 1700 | 1600 | 1450 | 1250 | 1000 | 0,80 | |
| 2400 | 2300 | 2200 | 2050 | 1900 | 1750 | 1500 | 1200 | 1,00 | |
| 4000 | 3800 | 3600 | 3400 | 3200 | 2900 | 2500 | 2000 | 1,20 | |
| 6000 | 5700 | 5500 | 5100 | 4800 | 4300 | 3800 | 3000 | 1,40 | |
| 8000 | 7700 | 7300 | 6800 | 6300 | 5800 | 5000 | 4000 | 1,60 | |
| 10000 | 9600 | 9100 | 8500 | 7900 | 7200 | 6300 | 5000 | 1,80 | |
| 12000 | 11500 | 10900 | 10300 | 9500 | 8700 | 7600 | 6000 | 2,00 | |
| 14000 | 13400 | 12700 | 12000 | 11100 | 10100 | 8800 | 7000 | 2,20 | |
| 16000 | 15300 | 14500 | 13700 | 12700 | 11500 | 10100 | 8000 | 2,40 | |
| 18000 | 17200 | 16400 | 15400 | 14300 | 13000 | 11300 | 9000 | 2,60 | |
| 20000 | 19100 | 18200 | 17100 | 15900 | 14400 | 12600 | 10000 | 2,80 | |
| 22000 | 21000 | 20000 | 18800 | 17500 | 15900 | 13900 | 11000 | 3,00 | |
| 24000 | 23000 | 21800 | 20500 | 19000 | 17300 | 15100 | 12000 | 3,20 | |
| 26000 | 24900 | 23600 | 22200 | 20600 | 18700 | 16400 | 13000 | 3,40 | |
| 28000 | 26800 | 25400 | 23900 | 22200 | 20200 | 17600 | 14000 | 3,60 | |
| 32000 | 30600 | 29100 | 27400 | 25400 | 23100 | 20200 | 16000 | 3,80 | |
| 36000 | 34400 | 32700 | 30800 | 28600 | 26000 | 22700 | 18000 | 4,00 | |
| 40000 | 38300 | 36500 | 35300 | 31700 | 28800 | 25200 | 20000 | 4,20 | |
| 44000 | 42100 | 40000 | 37600 | 34900 | 31700 | 27700 | 22000 | 4,40 | |
| 52000 | 49800 | 47200 | 44500 | 41300 | 37500 | 32800 | 26000 | 4,60 | |
| 60000 | 57400 | 54500 | 51300 | 47600 | 43300 | 37800 | 30000 | 4,80 | |
| 68000 | 65000 | 61800 | 58100 | 54000 | 49000 | 42800 | 34000 | 5,00 | |

Fonte: (UC, 2019a)

O cálculo do perigo inerente ao tipo de construção também é dado pela multiplicação de todos os parâmetros correspondentes.

O cálculo do valor do perigo potencial (P) é a multiplicação simples de todos os valores do perigo inerente ao conteúdo (Pc) e o perigo inerente ao tipo de construção (Pe) da edificação.

- **Medidas Contra o Desenvolvimento do Incêndio**

As medidas contra o desenvolvimento do incêndio incluem sistemas de prevenção e combate a incêndios na edificação, bem como características estruturais que afetam a propagação do fogo. Essas medidas podem ser classificadas em medidas normais, especiais ou de construção. O objetivo é reduzir o risco de ocorrência e controle de incêndios, garantindo maior segurança para os ocupantes da edificação.

Medidas normais

- **Fator n1: extintores portáteis**

O fator n1 determina o parâmetro com base no dimensionamento dos extintores portáteis da edificação. É um fator subjetivo, pois atribui apenas duas categorias: suficiente ou insuficiente. O julgamento do parâmetro depende das exigências locais em relação à quantidade de extintores, o que pode levar a resultados diferentes para edificações em endereços distintos, sujeitas a exigências legislativas específicas.

QUADRO 6 - Fator n1 - extintores portáteis

| extintores portáteis | Valor de n_1 |
|-----------------------------|----------------------------------|
| suficientes | 1,00 |
| não suficientes | 0,90 |

Fonte: (UC, 2019a)

- **fator n2 dimensionamento dos hidrantes de parede**

O fator n2 determina o parâmetro com base no dimensionamento dos hidrantes de parede da edificação. Assim como o fator n1, é um aspecto subjetivo, pois atribui apenas duas categorias: suficiente ou insuficiente. O julgamento do parâmetro depende das exigências locais em relação à quantidade de hidrantes de parede, o que pode levar a resultados diferentes para edificações em endereços distintos, sujeitas a exigências legislativas específicas.

QUADRO 7 - Fator n2 - hidrantes de parede

| bocas de incêndio armadas | n_2 |
|------------------------------------|-------------------------|
| suficientes | 1,00 |
| não suficientes ou inexistentes | 0,80 |

Fonte: (UC, 2019a)

- **Fator n3: confiabilidade do sistema de abastecimento de água**

O fator n3 determina o parâmetro de acordo com o dimensionamento da rede de hidrantes da edificação. Esse valor depende da presença ou ausência de um

reservatório próprio para abastecer o sistema de hidrantes, sua localização e a pressão que consegue fornecer no hidrante.

QUADRO 8 Fator n3 - abastecimento de água

| Valores de n ₃ | | Pressão no hidrante | | |
|---------------------------|----------------------------------|--|--|--|
| | | pressão < 20,39 mca pressão < 2 bar | 20,39 mca < pressão < 40,79 mca 2 bar < pressão < 4 bar | 40,79 mca < pressão 4 bar < pressão |
| | reservatório elevado com RTI | 0,70 | 0,85 | 1,00 |
| | reservatório elevado sem RTI | 0,65 | 0,75 | 0,90 |
| | bombeamento independente da rede | 0,60 | 0,70 | 0,85 |
| | bombeamento dependente da rede | 0,50 | 0,60 | 0,70 |
| | água natural | 0,50 | 0,55 | 0,60 |

Fonte: (UC, 2019a)

Fator n4: conduta de alimentação

O fator n4 determina o parâmetro com base na distância entre a edificação e o hidrante urbano mais próximo, considerando que, em caso de necessidade, a água seja transportada por mangueiras até o local do incêndio.

QUADRO 9 Fator n4 - distância entre a edificação e o hidrante urbano

| Distância até o hidrante urbano mais próximo | fator n ₄ |
|--|----------------------|
| distância < 70 metros | 1,00 |
| 70 metros < distância < 100 metros | 0,95 |
| 100 metros < distância | 0,90 |

Fonte: (UC, 2019a)

- **Fator n5: pessoal instruído**

O fator n5 determina o parâmetro de acordo com a presença ou ausência de equipe treinada para manipular os extintores portáteis e/ou hidrantes de parede, bem como saber utilizar o sistema de alarme e conhecer as possibilidades de evacuação da edificação.

QUADRO 10 Fator n5 - pessoal instruído

| Pessoal treinado | fator n ₅ |
|------------------|----------------------|
| disponível | 1,00 |
| não disponível | 0,80 |

Fonte: (UC, 2019a)

O cálculo do coeficiente das medidas normais (N) é dado pela multiplicação de todos os parâmetros correspondentes.

$$N = n_1 \times n_2 \times n_3 \times n_4 \times n_5$$

Medidas especiais

- **Fator s1: detecção de incêndio**

O fator s1 determina o parâmetro com base nos mecanismos manuais ou automáticos de detecção de incêndio presentes na edificação.

QUADRO 11 Fator s1 - detecção do fogo

| Detecção do fogo | Valor de s_1 | Observações |
|--|----------------|--|
| vigilância noturna e em fins de semana com, pelo menos, duas rondas | 1,05 | O serviço de vigilância é assegurado por guardas da empresa ou pertencentes a um serviço exterior de reconhecida competência. O serviço de guardas é regulamentado e as suas rondas são controladas por meio de relógio de ponto. Em cada noite devem efetuar-se, pelo menos, duas rondas e nos dias em que não há trabalho deve haver pelo menos duas rondas de controle durante o dia. O guarda deve ter a possibilidade de acionar o alarme num perímetro de 100 m seja qual for o local em que se encontre, por exemplo por meio de telefone, de um emissor-receptor ou de um botão de alarme. |
| vigilância noturna e em fins de semana com, pelo menos, rondas a cada duas horas | 1,10 | |
| detecção automática com transmissão a um posto ocupado permanentemente | 1,45 | Uma instalação automática de detecção de incêndio deve denunciar qualquer fogo que se declare e transmitir o alerta automaticamente a um posto ocupado em regime permanente, após o que as equipes, alertadas sem demora, intervirão rapidamente desencadeando as operações de salvamento e luta contra o incêndio. |
| chuveiros automáticos | 1,20 | Instalação sprinkler é simultaneamente uma "instalação de detecção de incêndio", que reage desde que é ultrapassada uma temperatura máxima. |

Fonte: (UC, 2019a)

- **Fator s2: transmissão do alerta**

O fator s2 determina o parâmetro com base nos mecanismos manuais ou automáticos de transmissão de alerta de incêndio presentes na edificação.

QUADRO 12 Fator s2 - detecção do fogo

| Transmissão do alerta | Valor de s_2 | Observações |
|---|----------------|--|
| postos de controle funcionando permanentemente | 1,05 | por exemplo, o cubículo do porteiro de um pequeno hotel ou de um lar, ocupado durante a noite por uma só pessoa. Este vigilante está autorizado a descartar junto do aparelho telefónico de alerta. Além disso, deve |
| postos de alerta funcionando permanentemente | 1,10 | por exemplo, cubículo de porteiro ou de vigilância pertencente à empresa ou a um serviço especializado, sala de comando de centrais de energia, ocupado em permanência por pelo menos duas pessoas instruídas tendo por obrigação transmitir o alerta diretamente à rede telefónica pública ou a uma instalação especial de transmissão. |
| transmissão automática do alerta por via telefónica | 1,45 | efetua-se automaticamente a partir da central de detecção automática de incêndio ou de extinção por intermédio da rede pública respectiva ou por uma rede com a mesma confiabilidade, pertencente à empresa, até um posto oficial de alerta-incêndio, ou ainda, a intervalos de tempo reduzidos, para pelo menos três estações telefónicas adequadas. |
| transmissão automática do alerta por linha telefónica controlada em permanência | 1,20 | efetua-se a partir da central conforme de detecção automática de incêndio ou de extinção por intermédio de uma linha PTT alugada ou sobreposta com linha telefónica normal até um posto de alerta oficial, de tal forma que o alerta não possa ser bloqueado por outras comunicações. As linhas devem ser permanentemente controladas quanto à sua fiabilidade (curtos circuitos e avarias). |

Fonte: (UC, 2019a)

- **Fator s3: bombeiros oficiais e de empresas**

O fator s3 determina o parâmetro com base na disponibilidade de bombeiros oficiais (bombeiros militares) ou de empresa (bombeiros civis ou brigadistas) para atender a um incêndio na edificação.

QUADRO 13 Fator s3 - detecção do fogo

| | | Bombeiros de empresa – BE | | | | |
|--------------------|-------|---------------------------|------|------|------|--------|
| | | BE 1 | BE 2 | BE 3 | BE 4 | sem BE |
| Bombeiros oficiais | CBO 1 | 1,20 | 1,30 | 1,40 | 1,50 | 1,00 |
| | CBO 2 | 1,30 | 1,40 | 1,50 | 1,60 | 1,15 |
| | CBO 3 | 1,40 | 1,50 | 1,60 | 1,70 | 1,30 |
| | CBO 4 | 1,45 | 1,55 | 1,65 | 1,75 | 1,35 |
| | CBO 5 | 1,50 | 1,60 | 1,70 | 1,80 | 1,40 |
| | CBO 6 | 1,55 | 1,65 | 1,75 | 1,85 | 1,45 |
| | CBO 7 | 1,70 | 1,75 | 1,80 | 1,90 | 1,60 |

Fonte: (UC, 2019a)

Quanto aos bombeiros oficiais para classificação de s3:

- CBO 1: trata-se do corpo de bombeiros oficial que não puder ser classificado nas demais categorias.
- CBO 2: corpo de bombeiros oficial com equipe de intervenção motorizada, com o mínimo de 20 bombeiros, podendo ser acionado por telefone, com equipes disponíveis também nos fins de semana.
- CBO 3: corpo de bombeiros oficial com equipe de intervenção motorizada, com o mínimo de 20 bombeiros, podendo ser acionado por telefone, com equipes disponíveis também nos fins de semana e que disponha de um caminhão auto-bomba-tanque, ou similar, com até 1200 litros de água.
- CBO 4: corpo de bombeiros oficial com equipe de intervenção motorizada, com o mínimo de 20 bombeiros, podendo ser acionado por telefone e que disponha de um caminhão auto-bomba-tanque, ou similar, com no mínimo 1200 litros de água. Nos fins de semana, devem permanecer equipes disponíveis com, no mínimo, 3 bombeiros, prontos para partir em um tempo máximo de cinco minutos.
- CBO 5: corpo de bombeiros oficial com equipe de intervenção, com o mínimo de 20 bombeiros, podendo ser acionado por telefone e que disponha de um caminhão auto-bomba-tanque, ou similar, com no mínimo 2400 litros de água. Nos fins de semana, devem permanecer equipes disponíveis com, no mínimo, 5 bombeiros, prontos para partir em um tempo máximo de cinco minutos.
- CBO 6: corpo de bombeiros oficial com equipe de intervenção motorizada, com o mínimo de 20 bombeiros, podendo ser acionado por telefone e que disponha de um caminhão auto-bomba-tanque, ou similar, com no mínimo 2400 litros de água. É preciso, ainda, haver uma equipe permanente com, no mínimo, 4 bombeiros.
- CBO 7: corpo de bombeiros oficial com equipes de intervenção de motorizadas, localizadas em um ou vários quartéis situados na zona protegida, em serviço permanente e equipadas de acordo com os riscos existentes.

Quanto aos bombeiros de empresa para classificação de s3:

- BE 1: trata-se de uma brigada de incêndio com um grupo mínimo de 10 pessoas habilitadas a combater incêndios, que estejam disponíveis para este serviço durante o horário de funcionamento da edificação e que possam ser acionadas ao mesmo tempo.
- BE 2: trata-se de uma brigada de incêndio com um grupo mínimo de 20 pessoas habilitadas a combater incêndios, dispondo de um comando próprio, que estejam disponíveis para este serviço durante o horário de funcionamento da edificação e que possam ser acionadas ao mesmo tempo.
- BE 3: trata-se de uma brigada de incêndio com um grupo mínimo de 20 pessoas habilitadas a combater incêndios, dispondo de um comando próprio, que estejam disponíveis para este serviço durante o horário de funcionamento da edificação e também quando a mesma estiver fechada, que possam ser acionadas ao mesmo tempo.
- BE 4: trata-se de uma brigada de incêndio com um grupo mínimo de 20 pessoas habilitadas a combater incêndios, dispondo de um comando próprio, que estejam disponíveis para este serviço durante o horário de funcionamento

da edificação e também quando a mesma estiver fechada, que possam ser acionadas ao mesmo tempo. Nos dias em que a edificação permanecer fechada, deve haver uma equipe com, no mínimo, 4 pessoas prontas para intervir em caso de incêndio.

- **Fator s4: escalões de intervenção dos corpos de bombeiros locais**

O fator s4 determina o parâmetro com base no tempo de intervenção dos bombeiros oficiais (t_e), que é contado desde o disparo do alarme até a chegada de uma primeira equipe eficaz no local do incêndio. O tempo de chegada pode ser estimado considerando a distância de deslocamento e a velocidade média das vias.

QUADRO 14 Fator s4 - escalões de intervenção dos bombeiros oficiais

| | | Valores de s_4 | | | | |
|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|--------------|------|------|--------|
| | | Chuveiros automáticos | BE 1 ou BE 2 | BE 3 | BE 4 | sem BE |
| tempo resposta do corpo de bombeiros | $t_e < 15 \text{ min}$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | $15 \text{ min} < t_e$ | 1,00 | 0,90 | 0,95 | 1,00 | 0,80 |
| | $< 30 \text{ min}$ | | | | | |
| | $30 \text{ min} < t_e$ | 0,95 | 0,75 | 0,9 | 0,95 | 0,60 |

Fonte: (UC, 2019a)

- **Fator s5: instalações de extinção**

O fator s5 determina o parâmetro com base no tipo de dispositivos automáticos de extinção e sua localização na edificação.

QUADRO 15 Fator s5 - instalações de extinção

| Instalações de extinção | Valores de s_5 |
|---|------------------|
| chuveiros automáticos em toda a edificação | 2,00 |
| chuveiros automáticos em locais específicos (dilúvio, água ou espuma) | 1,70 |
| proteção automática de extinção a gás | 1,35 |

Fonte: (UC, 2019a)

- **Fator s6: instalações automáticas de evacuação de calor e fumaça**

QUADRO 16 Instalações automáticas de evacuação de calor e fumaça

| Instalações automáticas de evacuação de calor e fumaça | Valor de s_6 |
|--|----------------|
| Exaustor de fumaça e calor | 1,20 |

Fonte: (UC, 2019a)

fator s6 é determinado pela presença ou ausência de um sistema automático de exaustão de gases quentes e fumaça na edificação. O valor é atribuído conforme a Tabela 22: Fator s6 - instalações automáticas de evacuação de calor e fumaça.

O cálculo do coeficiente das medidas especiais (S) é dado pela multiplicação de todos os parâmetros correspondentes.

$$S = s_1 \times s_2 \times s_3 \times s_4 \times s_5 \times s_6$$

Medidas inerentes à construção

- **Fator f1: estrutura resistente**

O fator f1 é determinado pela resistência ao fogo dos elementos estruturais, como pilares e vigas, presentes na edificação.

QUADRO 17 Instalações automáticas de evacuação de calor e fumaça

| Tempo de resistência ao fogo da estrutura | Valor de f_1 |
|---|----------------|
| 60 min < resistência | 1,30 |
| 30 min < resistência < 60 min | 1,20 |
| resistência < 30 min | 1,00 |

Fonte: (UC, 2019a)

- **Fator f2: fachadas**

O fator f2 é determinado pela resistência ao fogo das fachadas da edificação. Os valores dependem da porcentagem de superfície de janelas (AF) em relação à superfície total da fachada.

QUADRO 18 Fator f2 - fachadas

| Tempo de resistência ao fogo da fachada | Valor de f_2 |
|---|----------------|
| 60 min < resistência | 1,15 |
| 30 min < resistência < 60 min | 1,10 |
| resistência < 30 min | 1,00 |

Fonte: (UC, 2019a)

- **Fator f3: lajes**

O fator f3 é determinado pela compartimentação vertical da edificação, levando em conta a resistência ao fogo dos pavimentos, tipos de passagem e abertura verticais, e o número de andares. Aberturas verticais são consideradas protegidas se possuírem dispositivos automáticos de extinção de incêndio ou dispositivos automáticos de fechamento ligados ao sistema de detecção e alarme.

QUADRO 19 Fator f3 - lajes

| | | Valor de f ₃ | | |
|-------------------------------|---------------|----------------------------|---|---|
| | | ligações verticais | | |
| | | edificações do tipo Z ou G | edificações do tipo V | edificações do tipo V |
| resistência ao fogo das lajes | nº de andares | nenhuma ou isoladas | protegidas por sprinklers ou cortinas de fumaça | não protegidas por sprinklers ou cortinas de fumaça |
| 60 min ? resistência | nº ? 2 | 1,20 | 1,10 | 1,00 |
| | 2 < nº | 1,30 | 1,15 | 1,00 |
| 30 min < resistência < 60 min | nº ? 2 | 1,15 | 1,05 | 1,00 |
| | 2 < nº | 1,20 | 1,10 | 1,00 |
| 30 min < resistência < 60 min | nº ? 2 | 1,10 | 1,05 | 1,00 |
| | 2 < nº | 1,15 | 1,10 | 1,00 |
| resistência < 30 min | nº ? 2 | 1,05 | 1,00 | 1,00 |
| | 2 < nº | 1,10 | 1,05 | 1,00 |

Fonte: (UC, 2019a)

- **Fator f4: células corta-fogo**

O fator f4 é determinado pela compartimentação horizontal da edificação. São consideradas células corta-fogo as divisões em pavimentos com área de planta (AZ) de até 200m² e com divisórias e portas limítrofes que apresentam resistência ao fogo mínima de 30 minutos.

QUADRO 20 Fator f4 - células corta-fogo

| superfície da célula | | Valores de f ₄ | | |
|--|------------------|---------------------------|--------------------|------------|
| | | relação de áreas AF/AZ | | |
| | | AF/AZ ≤ 10 % | 5 % < AF/AZ < 10 % | AF/AZ < 5% |
| AZ < 50 m ² | outros materiais | 1,40 | 1,30 | 1,20 |
| | madeira | 1,30 | 1,20 | 1,10 |
| 50m ² < AZ < 100 m ² | outros materiais | 1,30 | 1,20 | 1,10 |
| | madeira | 1,12 | 1,10 | 1,00 |
| 100 m ² < AZ < 200 m ² | outros materiais | 1,20 | 1,10 | 1,00 |
| | madeira | 1,10 | 1,00 | 1,00 |

Fonte: (UC, 2019a)

O cálculo do coeficiente das medidas de construção (F) é dado pela multiplicação de todos os parâmetros correspondentes.

$$F = f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4$$

Risco efetivo de incêndio

- **Fator de exposição ao perigo (B)**

O fator de exposição ao perigo é a razão entre o perigo potencial (P) e as medidas contra o desenvolvimento do incêndio, atendendo a seguinte equação:

$$B = P$$

$$N \times S \times F$$

- **Perigo de ativação (A)**

O perigo de ativação do incêndio quantifica a probabilidade de ocorrência do incêndio e depende de diversos fatores relacionados às fontes de perigo, como aspectos térmicos, elétricos, mecânicos e químicos presentes na edificação. Também são consideradas fontes de perigo criadas por fatores humanos, como desordem, manutenção inadequada, uso de chama viva não controlada e presença

de usuários fumantes, entre outros. Os valores desse parâmetro são tabelados conforme a destinação da edificação e apresentados na Tabela 1.

Risco efetivo de incêndio (R)

O risco de incêndio efetivo é calculado multiplicando o perigo de ativação pelo fator de exposição a esse perigo, de acordo com a seguinte equação:

$$R = b \times a$$

- **Fator de correção (PH,E)**

O fator PH, diz respeito à exposição dos ocupantes da edificação ao perigo de incêndio e sua capacidade de mobilidade em caso de emergência. Esse fator de correção é aplicado com base no número de ocupantes da edificação e a categoria de exposição ao perigo que essas pessoas enfrentam. Os valores de PH,E estão listados na Tabela 27: Fatores de correção PH,E para diferentes situações.

- **Risco de incêndio admissível (Ru)**

O fator de correção PH,E quantifica o risco de incêndio considerado admissível para os ocupantes da edificação. Esse fator é obtido multiplicando-se a constante 1,3, que representa o risco normal de incêndio, pelo valor do fator de correção. Esse cálculo permite determinar o nível de risco aceitável para os ocupantes em caso de incêndio, levando em consideração as características específicas da edificação e a exposição ao perigo.

$$R_u = 1,3 \times P_{h,e}$$

Coefficiente de segurança contra incêndio γ

O coeficiente de segurança contra incêndio, também conhecido como fator global de segurança, é calculado dividindo-se o Risco de Incêndio Admissível (R_u) pelo Risco de Incêndio Efetivo (R).

Um coeficiente de segurança maior que 1 indica que o risco admissível está sendo respeitado, enquanto um valor menor que 1 indica que o risco real é maior do que o considerado seguro.

$$\gamma = R_u$$

$$\frac{R_u}{R}$$

3.4.2 Método Arica

O Método de Análise do Risco de Incêndio em Centros Urbanos Antigos, conhecido como ARICA, foi desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) em 2005, com foco na sua aplicação em centros históricos de Portugal. Desde então, o método tem passado por aperfeiçoamentos contínuos e a versão mais recente é o ARICA 2019, que foi utilizado neste estudo. Este método permite a análise das soluções de projeto para sistemas de segurança em edificações já existentes.

Para realizar a aplicação do Método ARICA é preciso primeiro, estabelecer uma área de intervenção para ser analisada e, então, considerar cada um dos quatro fatores globais separadamente.

Fator global de início do incêndio (FGII)
Fator global de desenvolvimento e propagação do incêndio (FGDPI)
Fator global de evacuação em caso de incêndio (FGEE)
Fator global de combate ao incêndio (FGCI)

O Método ARICA deve ser aplicado sempre considerando duas situações:

Condições iniciais (CI): onde são avaliadas as condições de segurança existentes antes da unidade de análise ser intervencionada, resultando no índice de segurança ao incêndio nas condições iniciais (ISICI);

Condições de projeto (CP): onde são avaliadas as condições de segurança que estarão presentes na unidade de análise após a intervenção, resultando no índice de segurança ao incêndio nas condições de projeto (ISICP).

3.5 Simulação de Incêndio

A simulação de incêndio é uma técnica utilizada para avaliar a segurança contra incêndios em edifícios e outras estruturas. Com base nas informações trazidas pela Thunderhead Engineering, através da modelagem matemática e da simulação computacional, é possível prever o comportamento do fogo e da fumaça em diferentes cenários, permitindo avaliar o desempenho de sistemas de prevenção além do impacto na estrutura do edifício.

Fire Dynamics Simulator (FDS) fala que os softwares de simulação de incêndio utilizam uma variedade de modelos matemáticos para representar o comportamento do fogo e da fumaça. Esses modelos podem incluir equações de balanço de massa, energia e quantidade de movimento, bem como modelos de transferência de calor e combustão.

Uma das aplicações da simulação de incêndio é avaliar o desempenho de sistemas de prevenção e combate a incêndios, como sprinklers, sistemas de detecção de fumaça e sistemas de ventilação. Através da simulação, é possível avaliar como esses sistemas podem ser otimizados para melhorar a segurança contra incêndios em edifícios, e avaliar a eficácia de medidas de mitigação adotadas. Guerreiro, (2023).

Os resultados da simulação podem ser apresentados em uma variedade de formatos, incluindo gráficos, tabelas e animações. Guerreiro, (op. cit.).

Embora com uso comprovadamente funcional, a utilização da simulação de incêndios em modelos tridimensionais ainda não é tão comum na preservação de patrimônios, principalmente devido à complexidade dos modelos necessários e ao alto custo de criação. Porém sua utilização se mostra bastante necessária tendo em vista que esses patrimônios muitas vezes apresentam desafios únicos em termos de proteção contra incêndios, pois podem ter características arquitetônicas e materiais de construção antigos que não atendem aos requisitos modernos de segurança contra incêndios com certo nível de dificuldade de adequação. Deivison A. G. Guerreiro (op. cit.).

Ao utilizar modelos tridimensionais precisos, a simulação de incêndios pode ajudar a identificar as áreas de maior risco, como aquelas com maior probabilidade de incêndios, locais com maior acúmulo de fumaça ou áreas de difícil acesso para combate a incêndios. Guerreiro, (op. cit.).

3.5.1 Simulação de Incêndio com o PyroSim

PyroSim é um software de simulação de incêndio baseado no Fire Dynamics Simulator com licença para uso acadêmico, e é desenvolvido pela Thunderhead Engineering. Ele permite a criação de modelos complexos de edifícios e outras estruturas e a simulação do comportamento do fogo e da fumaça em diferentes cenários.

Com o PyroSim, é possível criar modelos 3D de edifícios e outras estruturas com base em plantas baixas, elevações e outros desenhos de engenharia. O software possui uma biblioteca de objetos pré-fabricados, incluindo paredes, portas, janelas, sistemas de ventilação e sistemas de proteção contra incêndio, que podem ser adicionados ao modelo para representar a construção real. Entretanto é possível importar modelos 3D criados em outras ferramentas BIM, como o Autodesk Revit.

4. ESTUDO DE CASO

Conhecido popularmente como Edifício JK, o Conjunto Governador Kubitschek foi construído em 1950 e inaugurado em 1954, durante o mandato do presidente Juscelino Kubitschek.

Devido à sua importância histórica e arquitetônica, em 2021 o Edifício JK foi tombado definitivamente como patrimônio cultural de Belo Horizonte e é protegido por leis municipais de preservação do patrimônio histórico e cultural.

O edifício foi projetado pelo arquiteto Oscar Niemeyer e é um exemplo da arquitetura moderna brasileira, com suas formas curvas e vidro espelhado, considerado o primeiro arranha-céu do Brasil que ainda hoje é um dos mais altos da capital mineira, e o 122º no ranking dos mais altos do Brasil.

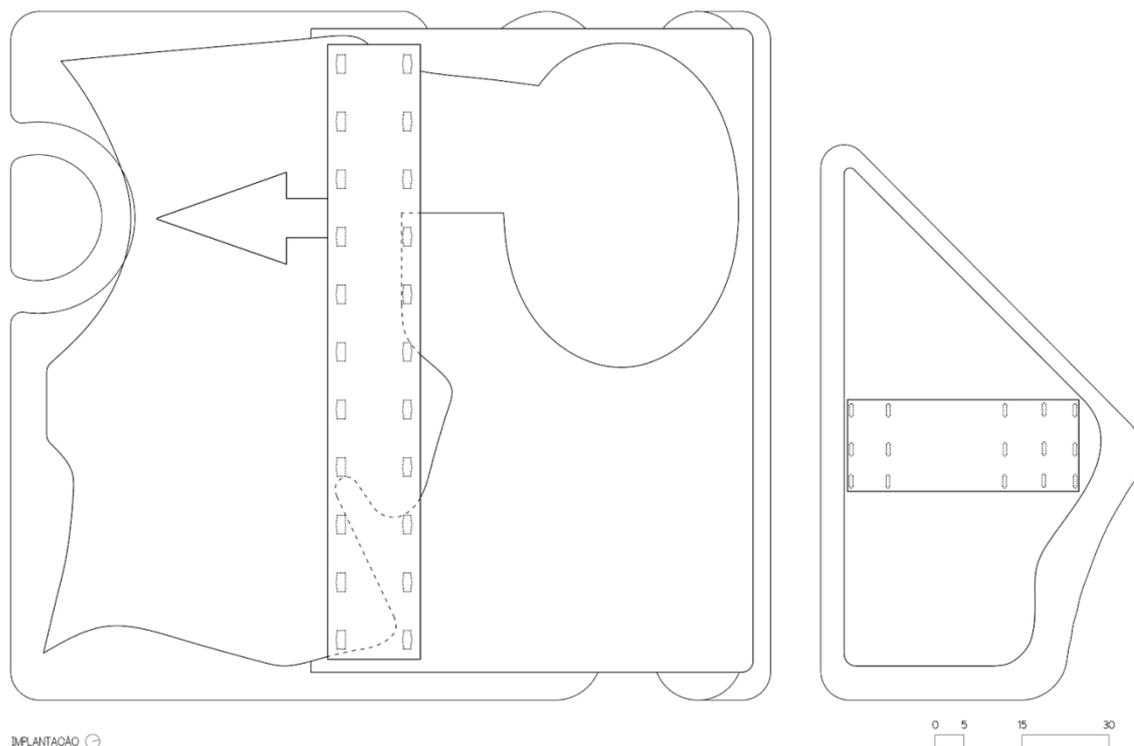
FIGURA 1 - Vista 3d do Edifício JK



Fonte: Google Earth - 2023

Constituído de dois blocos, um deles no quarteirão compreendido entre a Avenida Olegário Maciel, Rua dos Timbiras, Rua Rio Grande do Sul e Rua dos Guajajaras, e o outro no quarteirão compreendido entre a Praça Raul Soares, Avenida Olegário Maciel, Rua dos Guajajaras e Avenida Amazonas, os dois blocos de edifícios, denominados “Bloco A” e “Bloco B”, conforme extraído da carta de convenção de condomínio assim se descrevem e caracterizam:

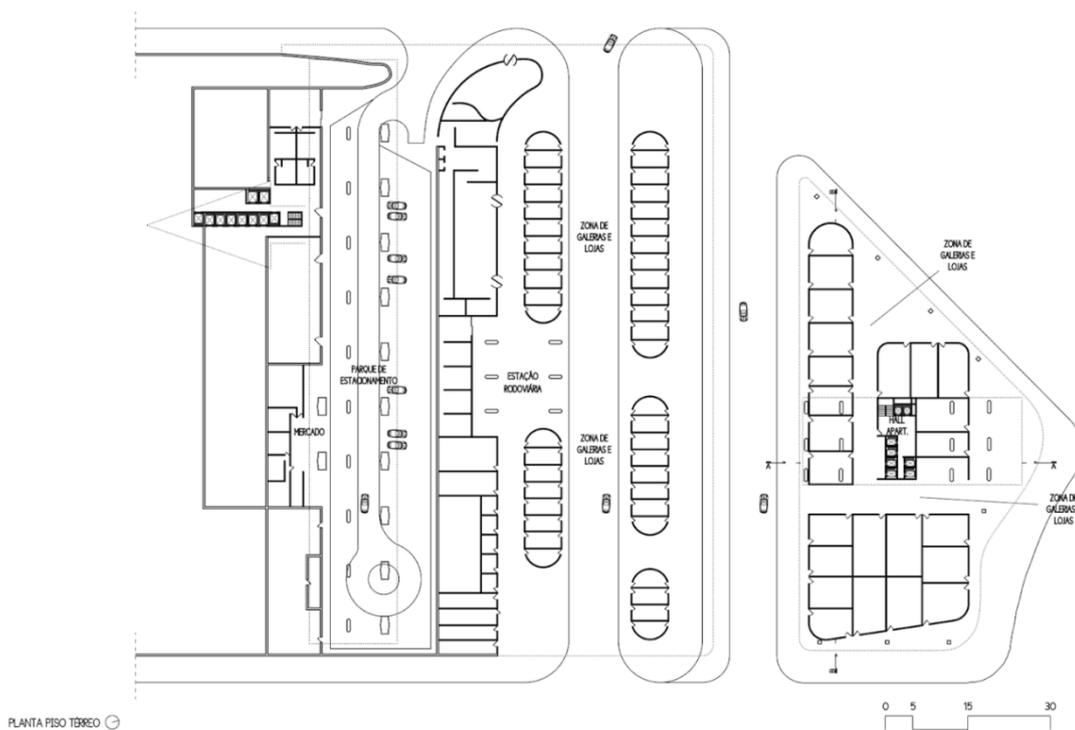
FIGURA 2 - Implantação Edifício JK



Fonte: ArchDaily- 2023

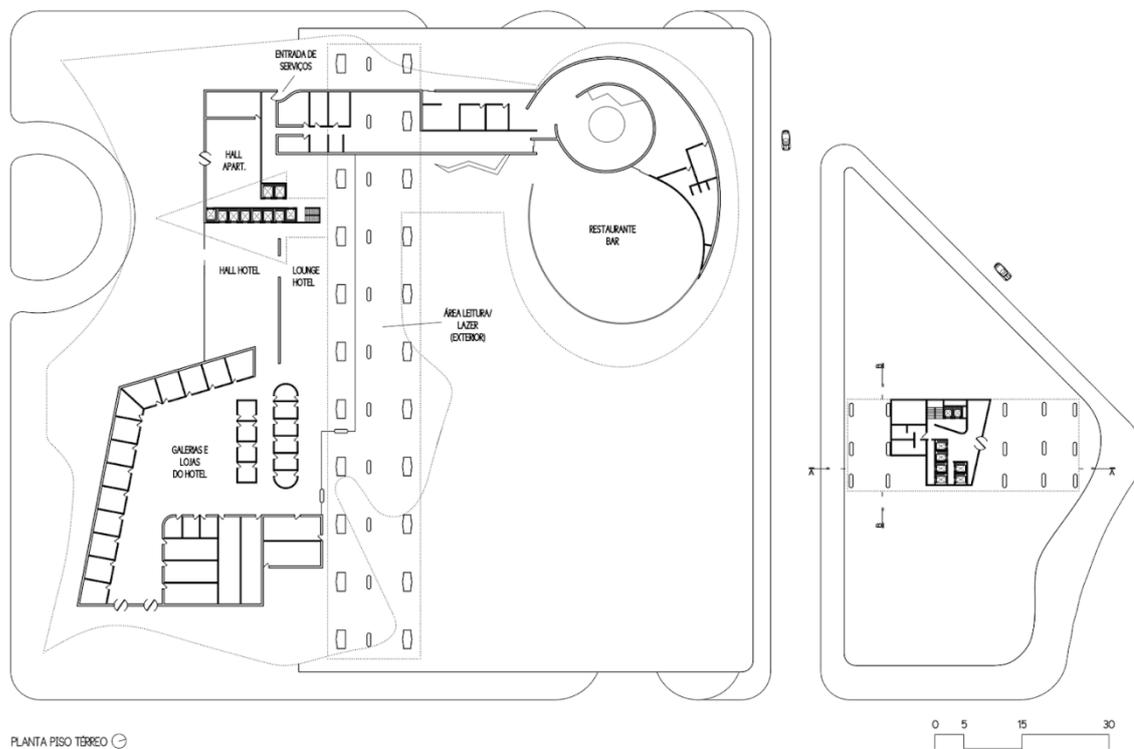
BLOCO A - possui vinte e dois pavimentos e mais o subsolo, dividido em setecentos e cinco unidades. Está construído sobre estrutura de concreto armado, em pilotis, com janelas para as Ruas Timbiras e Guajajaras e fachadas cegas para a Rua Rio Grande do Sul e Avenida Olegário Maciel, possui uma torre de elevadores separada com dez elevadores.

FIGURA 3 - Planta Térreo Edifcio JK



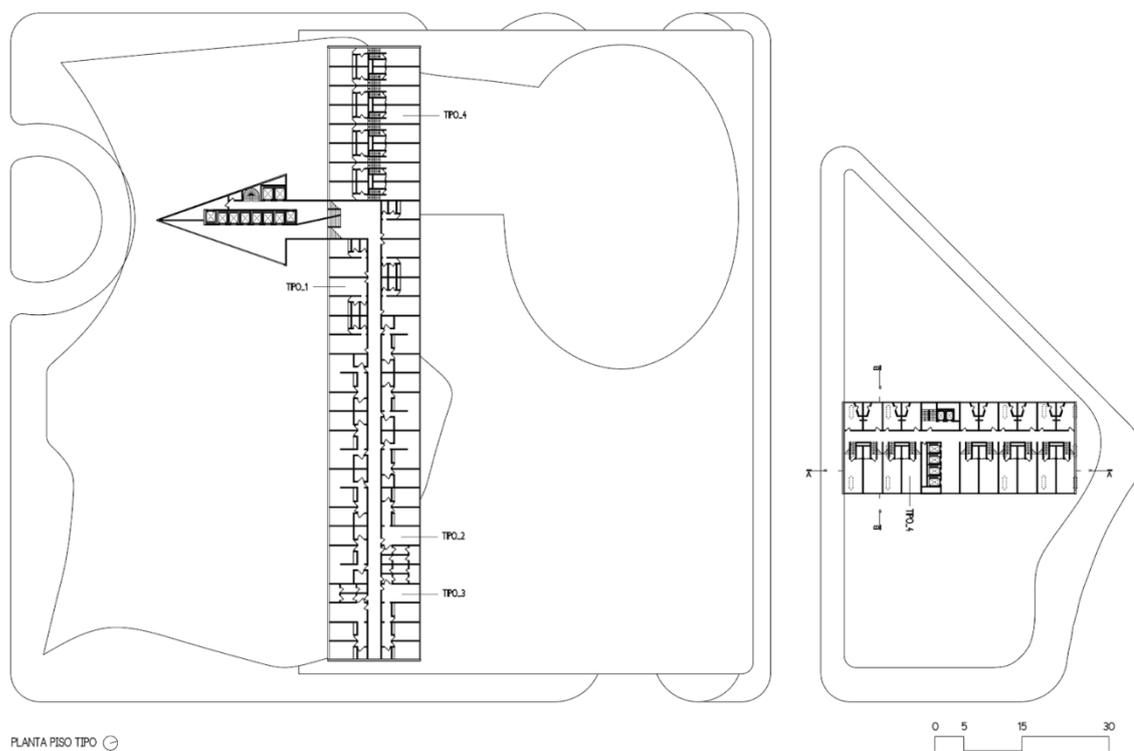
Fonte: ArchDaily- 2023

FIGURA 4 - Segundo Pavimento Edifício JK



Fonte: ArchDaily- 2023

FIGURA 5 - Pavimento Tipo Edifício JK



Fonte: ArchDaily- 2023

O subsolo, ao nível da Rua Timbiras, contempla uma garagem, alojamentos de uso privativo, cômodos para subestação elétrica, incineradores, caixa d'água e cinquenta e uma lojas com destinações diversas. Já no primeiro pavimento, com acesso ao nível da Rua Timbiras, está o hall de seis lojas.

No segundo pavimento está o museu com acesso pela esplanada. Os demais pavimentos estão distribuídos em apartamentos com plantas tipos diferentes definidas como tipo A, tipo B e tipo C, tipo 2, tipo 3, tipo 4 e tipo 5.

BLOCO B - possui trinta e seis pavimentos e mais o subsolo, dividido em quatrocentos e cinquenta e quatro unidades.

Este construído também sobre estruturas de concreto armado em pilotis, com fachadas com janelas para as Avenidas Amazonas e Olegário Maciel e fachadas cegas para a Rua Guajajaras e Praça Raul Soares, sendo a entrada principal pela Praça Raul Soares e entradas secundárias pela Rua Guajajaras e pela Avenida Amazonas.

São dois elevadores para serviço, dois que atendem moradores do terceiro ao nono pavimento e quatro para atender os moradores do décimo ao trigésimo sexto.

No subsolo estão localizadas a casa de máquinas e de instalações elétricas e hidráulicas, caixa d'água e depósitos.

No primeiro pavimento localizam-se os halls principal e de serviço, duas galerias de circulação e quatorze lojas com destinações diversas; na sobreloja situa-se um salão com instalações sanitárias, com acesso por uma escadaria que tem entrada independente pela Rua Guajajaras.

Do terceiro ao nono pavimentos, estão os apartamentos em planta tipo, quatorze apartamentos do tipo "D", sete do tipo "E", sete do tipo "F" e vinte e um do tipo "G"; nos décimo ao trigésimo-quarto pavimentos, cento e trinta apartamentos do tipo "A", cento e trinta do tipo "B" e cento e trinta do tipo "C".

Ao total são 1.087 apartamentos em uma área de 1,6 mil metros quadrados.

De acordo com as informações trazidas pela síndica do Edifício, Maria Lima das Graças, em 2009 o edifício passou por uma grande reforma, que incluiu a modernização dos elevadores, sistema de climatização, instalação de novos sistemas de segurança e atualização da infraestrutura elétrica e hidráulica, além da instalação de hidrantes, extintores de incêndio e detectores de fumaça.

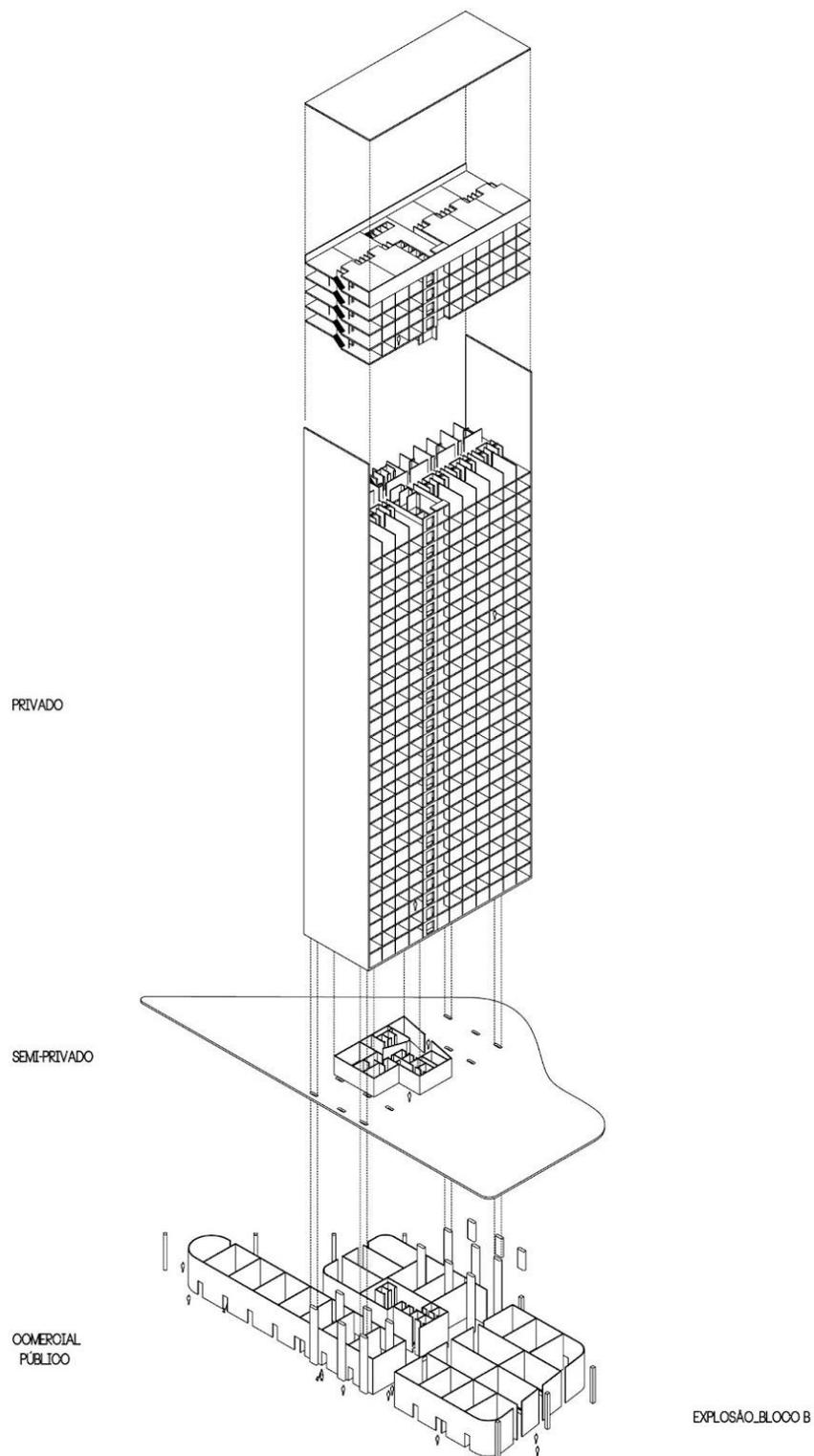
Entretanto, de acordo com denúncias realizadas pelo Instituto Histórico e Geográfico de Minas Gerais (IHGMG), e visita in loco, foi possível notar que a direção do edifício JK não teria realizado medidas de conservação e reparo na estrutura do Bloco B, em especial na laje sobre a sede do IHGMG, além das instalações dos equipamentos de prevenção e combate a incêndio em ambos os blocos.

A edificação apresenta infiltrações graves que deterioraram o teto do IHGMG em diversos pontos, causando fissuras no teto, encharcamento do piso, expondo a integridade do acervo a danos, inclusive de incêndios e inundações.

Segundo Couto,(2023) "o risco para o patrimônio de Minas Gerais é muito grande. O instituto tem 117 anos. É a casa de cultura mais antiga do estado. Os documentos e fotografias que estão aqui dentro são históricos, como os ligados à Inconfidência."

Sendo assim, a área proposta neste estudo para análise e simulação será compreendida entre local que hoje abriga o IHGMG no nível térreo, com acesso pela rua dos Guajajaras no bloco B e o sexto pavimento do bloco A, por contar com áreas mais extensas e conflituosas de difícil evacuação.

FIGURA 6 - Isométrica Explodida JK



Fonte: ArchDaily- 2023

4.1 Análise de Risco de incêndio

Nos quadros 1 e dois, são apresentados os resultados do Método de Análise de Risco de Gretener no Edifício JK tanto no bloco A quanto no bloco B.

O quociente de segurança contra incêndio (γ) no edifício JK no bloco B é de 0,69 considerando então a edificação insegura.

QUADRO 21 - Tabela de Cálculo do Método Gretener Bloco B

| TABELA DE CÁLCULO DO MÉTODO GRETENER | | | | |
|---|--|---|-----------|-----|
| Características da Edificação | | | | |
| Edificação | Edifício JK - Bloco B | | | |
| Classificação da Edificação | G | | | |
| Dimensionamento do prédio | | | | |
| | comprimento (maior dimensão) | l | 40.5 | |
| | largura (menor dimensão) | b | 16 | |
| | relação comprimento : largura | l/b | 2 : | 50 |
| | área em (m ²) | área | 648 | |
| | carga incêndio | Qm | | |
| Perigos Potenciais | | | | |
| Conteúdo da Edificação | fator q | carga incêndio mobiliária | q | 1,4 |
| | fator c | combustibilidade | c | 1 |
| | fator r | enfumaçamento | r | 1,1 |
| | fator k | corrosão / toxicidade | k | 1 |
| | valor total do perigo inerente ao conteúdo | | | 0,5 |
| Tipo de Construção | fator i | carga incêndio imobiliária | i | 1 |
| | fator e | nível do piso | e | 1 |
| | fator g | amplidão da superfície | g | 0,5 |
| | valor total do perigo inerente ao tipo de construção | | | 0,5 |
| Valor total do perigo potencial | | | P | 1 |
| Medidas Contra o Desenvolvimento do Incêndio | | | | |
| Medidas Normais | fator n1 | extintores portáteis | n1 | 0,9 |
| | fator n2 | hidrantes internos | n2 | 0,8 |
| | fator n3 | confiabilidade do abastecimento de água | n3 | 0,7 |

| | | | | |
|--|----------|--|------------|---------------|
| | fator n4 | conduta de alimentação | n4 | 1 |
| | fator n5 | pessoal instruído | n5 | 1 |
| Valor do coeficiente de medidas normais | | | N | 0,5 |
| Medidas Especiais | fator s1 | detecção de incêndio | s1 | 1,05 |
| | fator s2 | transmissão e alerta | s2 | 1,05 |
| | fator s3 | bombeiros oficiais e empresas | s3 | 1,2 |
| | fator s4 | tempo de intervenção dos bombeiros oficiais | s4 | 1 |
| | fator s5 | instalações de extinção | s5 | 1,7 |
| | fator s6 | instalações automáticas de evacuação de calor e fumaça | s6 | 0 |
| Valor do coeficiente de medidas especiais | | | S | 2,24 |
| Medidas de Construção | fator f1 | estrutura resistente | f1 | 1,3 |
| | fator f2 | fachadas | f2 | 1 |
| | fator f3 | lajes | f3 | 1,2 |
| | fator f4 | células corta-fogo | f4 | 1,2 |
| Valor do coeficiente de medidas de construção | | | F | 1,87 |
| fator de exposição ao perigo | | | B | 8,3776 |
| perigo de ativação | | | A | 1 |
| risco efetivo de incêndio | | | R | 8,3776 |
| fator de correção | | | PHE | 0,45 |
| risco de incêndio admissível | | | Ru | 0,585 |
| VALOR DO FATOR GLOBAL DE SEGURANÇA | | | y | 0,06982906799 |

Fonte: Elaborado pela Autora

Como esperado, o bloco A que apresenta características mais complexas devido sua grande dimensão horizontal e vertical apresenta valor global de 0,049 segurança menor que o bloco B é menor que o quociente de segurança contra incêndio mínimo definido pelo método.

QUADRO 22 - Tabela de Cálculo do Método Gretener Bloco A

| TABELA DE CÁLCULO DO MÉTODO GREENER |
|-------------------------------------|
| Características da Edificação |

| | | | | |
|---|--|---|-----------|------|
| Edificação | Edifício JK - Bloco A | | | |
| Classificação da Edificação | G | | | |
| Dimensionamento do prédio | | | | |
| | comprimento (maior dimensão) | l | 107,35 | |
| | largura (menor dimensão) | b | 1660 | |
| | relação comprimento : largura | l/b | 6 : | 68 |
| | área em (m ²) | área | 1967 | |
| | carga incêndio | Qm | | |
| Perigos Potenciais | | | | |
| Conteúdo da Edificação | fator q | carga incêndio mobiliária | q | 1,4 |
| | fator c | combustibilidade | c | 1 |
| | fator r | enfumaçamento | r | 1,1 |
| | fator k | corrosão / toxicidade | k | 1 |
| | valor total do perigo inerente ao conteúdo | | | 0,5 |
| Tipo de Construção | fator i | carga incêndio imobiliária | i | 1 |
| | fator e | nível do piso | e | 1 |
| | fator g | amplidão da superfície | g | 2,8 |
| | valor total do perigo inerente ao tipo de construção | | | 2,8 |
| Valor total do perigo potencial | | | P | 1,4 |
| Medidas Contra o Desenvolvimento do Incêndio | | | | |
| Medidas Normais | fator n1 | extintores portáteis | n1 | 0,9 |
| | fator n2 | hidrantes internos | n2 | 0,8 |
| | fator n3 | confiabilidade do abastecimento de água | n3 | 0,7 |
| | fator n4 | conduta de alimentação | n4 | 1 |
| | fator n5 | peçoal instruído | n5 | 1 |
| Valor do coeficiente de medidas normais | | | N | 0,5 |
| Medidas Especiais | fator s1 | detecção de incêndio | s1 | 1,05 |
| | fator s2 | transmissão e alerta | s2 | 1,05 |
| | fator s3 | bombeiros oficiais e empresas | s3 | 1,2 |
| | fator s4 | tempo de intervenção dos bombeiros oficiais | s4 | 1 |

| | | | | |
|--|----------|--|------------|---------------|
| | fator s5 | instalações de extinção | s5 | 1,7 |
| | fator s6 | instalações automáticas de evacuação de calor e fumaça | s6 | 0 |
| Valor do coeficiente de medidas especiais | | | S | 2,24 |
| Medidas de Construção | fator f1 | estrutura resistente | f1 | 1,3 |
| | fator f2 | fachadas | f2 | 1 |
| | fator f3 | lajes | f3 | 1,2 |
| | fator f4 | células corta-fogo | f4 | 1,2 |
| Valor do coeficiente de medidas de construção | | | F | 1,87 |
| fator de exposição ao perigo | | | B | 11,72864 |
| perigo de ativação | | | A | 1 |
| risco efetivo de incêndio | | | R | 11,72864 |
| fator de correção | | | PHE | 0,45 |
| risco de incêndio admissível | | | Ru | 0,585 |
| VALOR DO FATOR GLOBAL DE SEGURANÇA | | | y | 0,04987790571 |

Fonte: Elaborado pela Autora

4.1.2 Método Arica

A fim de tornar a aplicação do método mais efetivo, o LNEC desenvolveu e disponibilizou no seu sítio da Internet uma folha de cálculo em formato xlsx que permite registar os dados, realizar os cálculos e visualizar os resultados automaticamente. A folha de cálculo também apresenta informação de apoio, para caso haja algum erro no preenchimento.

Para realização do cálculo foi utilizado em paralelo a planilha o passo a passo disponibilizado por Minervino (2023) através do site Análise de Risco de Incêndio disponível no site Análise de Risco de Incêndio (<https://analisederiscodeincendio.com.br/metodo-arica/>).

QUADRO 23 - Tabela de Cálculo do Método Arica - Condições Iniciais



Unidade de análise -

1

Caraterísticas da unidade

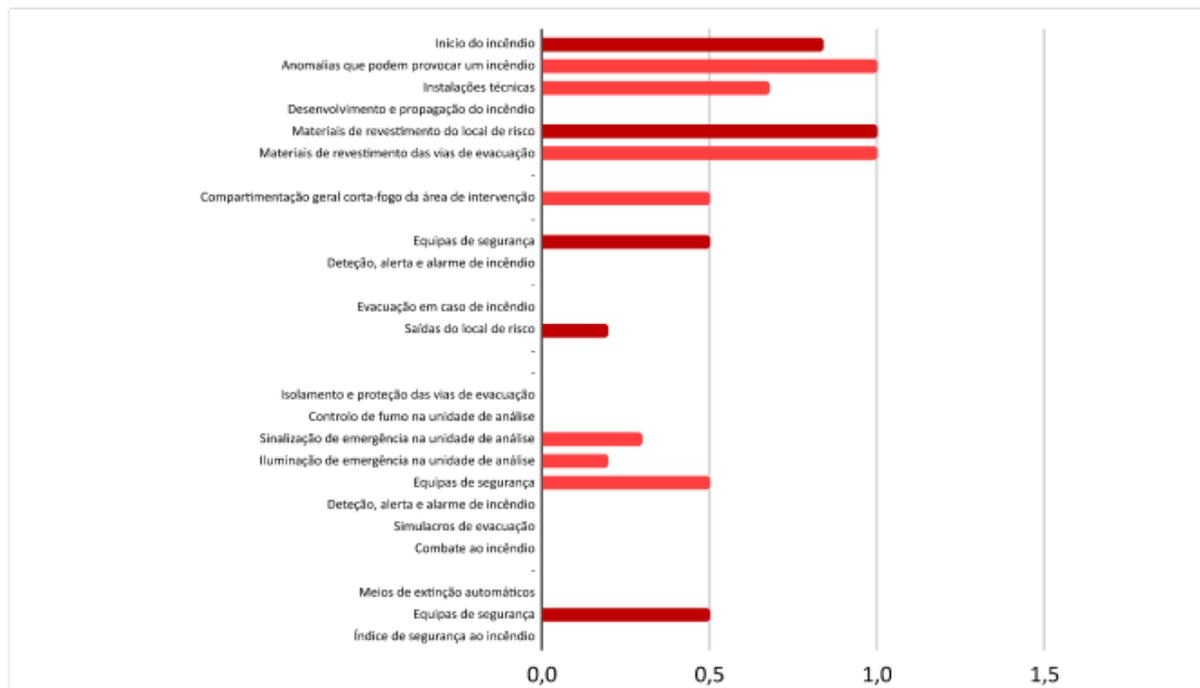
| | |
|------------------------|------------------------|
| Tipo de local de risco | Tipo A |
| Utilização tipo | UT I – Habitação |
| Categoria de risco | 4.ª Categoria de risco |

Resumo

| | | |
|--|--|-------------|
| 1. Início do incêndio | | 0,84 |
| | Anomalias que podem provocar um incêndio | 1,00 |
| | Instalações técnicas | 0,68 |
| 2. Desenvolvimento e propagação do incêndio | | |
| | Materiais de revestimento do local de risco | 1,00 |
| | Materiais de revestimento das vias de evacuação | 1,00 |
| | Isolamento e proteção do local de risco | |
| | Compartimentação geral corta-fogo da área de intervenção | 0,50 |
| | Isolamento e proteção entre utilizações-tipo distintas | - |
| | Equipas de segurança | 0,50 |
| | Deteção, alerta e alarme de incêndio | 0,00 |
| | Propagação pelo exterior | |
| 3. Evacuação em caso de incêndio | | |
| | Saídas do local de risco | 0,20 |
| | Dimensões dos locais e das vias horizontais de evacuação | - |
| | Dimensões das vias verticais de evacuação | |
| | Isolamento e proteção das vias de evacuação | 0,00 |
| | Controlo de fumo na unidade de análise | 0,00 |
| | Sinalização de emergência na unidade de análise | 0,30 |
| | Iluminação de emergência na unidade de análise | 0,20 |
| | Equipas de segurança | 0,50 |
| | Deteção, alerta e alarme de incêndio | 0,00 |
| | Simulacros de evacuação | 0,00 |
| 4. Combate ao incêndio | | |
| | Acessibilidade e meios de intervenção não automáticos | |
| | Meios de extinção automáticos | 0,00 |
| | Equipas de segurança | 0,50 |
| Índice de segurança ao incêndio | | 0,00 |

Índice de segurança ao incêndio

0,00



| | | | |
|--|---|---|-------------|
| 1. Início do incêndio | | | 0,84 |
| 1.1 | Anomalias que podem provocar um incêndio | Não existem espaços pertencentes à UA com anomalias que podem provocar um início de incêndio | 1,00 |
| 1.2 | Instalações técnicas | | 0,68 |
| 1.2.1 | Instalações elétricas | Não cumprem a regulamentação em vigor | 0,70 |
| 1.2.2 | Instalações de gás | Não existem | - |
| 1.2.3 | Instalações de aquecimento – Centrais térmicas | Não existem | - |
| 1.2.4 | Instalações de aquecimento – Aparelhagem | Não existem | - |
| 1.2.5 | Instalações de confeção e conservação de alimentos | Não existem | - |
| 1.2.6 | Instalações de evacuação de efluentes de combustão | Não existem | - |
| 1.2.7 | Instalações de ventilação e condicionamento de ar | Não cumprem a regulamentação em vigor | 0,95 |
| 2. Desenvolvimento e propagação do incêndio | | | |
| 2.1 | Materiais de revestimento do local de risco | | 1,00 |
| 2.1.1 | Classe de reação ao fogo dos revestimentos interiores das paredes e tetos | Os materiais de revestimento são regulamentares | 1,00 |
| 2.1.2 | Classe de reação ao fogo dos revestimentos interiores dos pavimentos | Os materiais de revestimento são regulamentares | 1,00 |
| 2.2 | Materiais de revestimento das vias de evacuação | | 1,00 |
| 2.2.1 | Classe de reação ao fogo dos revestimentos interiores das paredes e tetos | Os materiais de revestimento são regulamentares | 1,00 |
| 2.2.2 | Classe de reação ao fogo dos revestimentos interiores dos pavimentos | Os materiais de revestimento são regulamentares | 1,00 |
| 2.3 | Isolamento e proteção do local de risco | Existem elementos com um escalão de tempo inferior ao exigido na regulamentação | |
| 2.4 | Compartimentação geral corta-fogo da área de intervenção | Não existe compartimentação geral corta-fogo na AI, apesar da regulamentação o exigir | 0,50 |
| 2.5 | Isolamento e proteção entre utilizações-tipo distintas | Na AI à qual pertence a UA só existe uma utilização-tipo | - |
| 2.6 | Equipas de segurança | Existe no edifício uma equipa de segurança que não está de acordo com o exigido na regulamentação | 0,50 |
| 2.7 | Deteção, alerta e alarme de incêndio | A UA não está equipada com um sistema automático de deteção de incêndio, apesar da regulamentação o exigir | 0,00 |
| 2.8 | Propagação pelo exterior | | |
| 2.8.1 | Materiais de revestimento exteriores | A intervenção não envolve alterações nos materiais de revestimento exteriores | - |
| 2.8.2 | Afastamento de vãos das fachadas | Nem todos os vãos pertencentes à UA e aos pisos adjacentes, situados na mesma prumada, apresentam afastamentos superiores ou iguais ao estabelecido na regulamentação | |

| | | |
|--|--|------|
| 3. Evacuação em caso de incêndio | | |
| 3.1 Saídas do local de risco | | 0,23 |
| 3.1.1 Número de saídas do local de risco | A única saída do local de risco envolve o atravessamento de outros locais de risco | 0,20 |
| 3.1.2 Largura total das saídas do local de risco | | 1,13 |
| <i>Efetivo do local de risco</i> | 1 | |
| <i>Somatório da largura das saídas (m)</i> | 0,90 | |
| <i>Largura de ref. do somatório das larguras das saídas (m)</i> | 0,80 | |
| 3.2 Dimensões dos locais e das vias horizontais de evacuação | | - |
| 3.2.1 Larguras dos vãos e das vias horizontais de evacuação | | - |
| Local de risco | Não existe | |
| Via horizontal no piso do local de risco | Não existe | |
| Via horizontal até à saída para o exterior | Não existe | |
| 3.2.2 Distância a percorrer nas vias horizontais de evacuação | | - |
| Percurso no interior do local de risco até à porta | Não existe | |
| Percurso na via horizontal no piso do local de risco | Não existe | |
| Percurso na via horizontal até à saída para o exterior | Não existe | |
| 3.3 Dimensões das vias verticais de evacuação | Existe | |

Fonte: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, editado pela autora

De acordo com a análise trazida pelo método Arica, em uma área de intervenção correspondente ao pavimento tipo ímpar do do bloco B, o índice de segurança foi igual a zero.

QUADRO 24 - Tabela de Cálculo do Método Arica - Condições de Projeto



Unidade de análise -

1

Caraterísticas da unidade

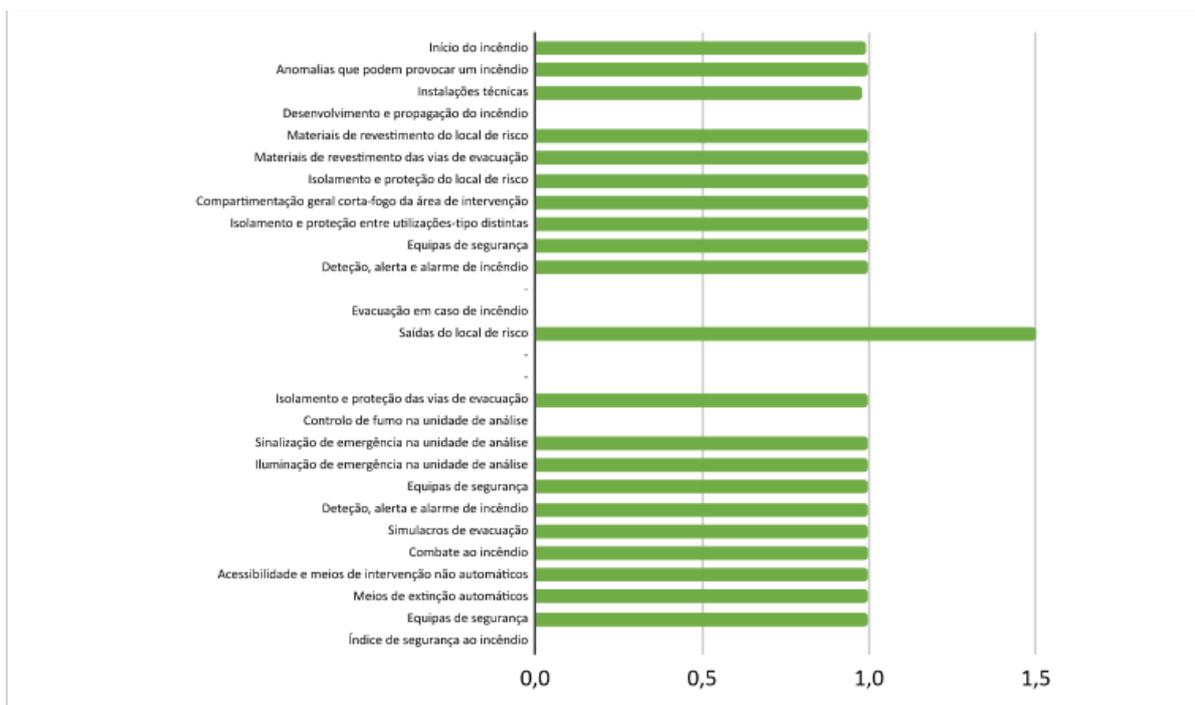
| | |
|------------------------|------------------------|
| Tipo de local de risco | Unidade de habitação |
| Utilização tipo | UT I – Habitação |
| Categoria de risco | 4.ª Categoria de risco |

Resumo

| | | |
|--|--|-------------|
| 1. Início do incêndio | | 0,99 |
| | Anomalias que podem provocar um incêndio | 1,00 |
| | Instalações técnicas | 0,98 |
| 2. Desenvolvimento e propagação do incêndio | | |
| | Materiais de revestimento do local de risco | 1,00 |
| | Materiais de revestimento das vias de evacuação | 1,00 |
| | Isolamento e proteção do local de risco | 1,00 |
| | Compartimentação geral corta-fogo da área de intervenção | 1,00 |
| | Isolamento e proteção entre utilizações-tipo distintas | 1,00 |
| | Equipas de segurança | 1,00 |
| | Deteção, alerta e alarme de incêndio | 1,00 |
| | Propagação pelo exterior | |
| 3. Evacuação em caso de incêndio | | |
| | Saídas do local de risco | 1,50 |
| | Dimensões dos locais e das vias horizontais de evacuação | |
| | Dimensões das vias verticais de evacuação | |
| | Isolamento e proteção das vias de evacuação | 1,00 |
| | Controlo de fumo na unidade de análise | 0,00 |
| | Sinalização de emergência na unidade de análise | 1,00 |
| | Iluminação de emergência na unidade de análise | 1,00 |
| | Equipas de segurança | 1,00 |
| | Deteção, alerta e alarme de incêndio | 1,00 |
| | Simulacros de evacuação | 1,00 |
| 4. Combate ao incêndio | | 1,00 |
| | Acessibilidade e meios de intervenção não automáticos | 1,00 |
| | Meios de extinção automáticos | 1,00 |
| | Equipas de segurança | 1,00 |
| Índice de segurança ao incêndio | | 0,00 |

Índice de segurança ao incêndio

0,00



| | | |
|---|---|-------------|
| 1. Início do incêndio | | 0,99 |
| 1.1 Anomalias que podem provocar um incêndio | Não existem espaços pertencentes à UA com anomalias que podem provocar um início de incêndio | 1,00 |
| 1.2 Instalações técnicas | | 0,98 |
| 1.2.1 Instalações elétricas | Cumprem a regulamentação em vigor | 1,00 |
| 1.2.2 Instalações de gás | Não existem | - |
| 1.2.3 Instalações de aquecimento – Centrais térmicas | Não existem | - |
| 1.2.4 Instalações de aquecimento – Aparelhagem | Não existem | - |
| 1.2.5 Instalações de confeção e conservação de alimentos | Não existem | - |
| 1.2.6 Instalações de evacuação de efluentes de combustão | Não existem | - |
| 1.2.7 Instalações de ventilação e condicionamento de ar | Cumprem a regulamentação em vigor | 1,00 |
| 2. Desenvolvimento e propagação do incêndio | | |
| 2.1 Materiais de revestimento do local de risco | | 1,00 |
| 2.1.1 Classe de reação ao fogo dos revestimentos interiores das paredes e tetos | Os materiais de revestimento são regulamentares | 1,00 |
| 2.1.2 Classe de reação ao fogo dos revestimentos interiores dos pavimentos | Não existem exigências regulamentares aplicáveis | - |
| 2.2 Materiais de revestimento das vias de evacuação | | 1,00 |
| 2.2.1 Classe de reação ao fogo dos revestimentos interiores das paredes e tetos | Os materiais de revestimento são regulamentares | 1,00 |
| 2.2.2 Classe de reação ao fogo dos revestimentos interiores dos pavimentos | Os materiais de revestimento são regulamentares | 1,00 |
| 2.3 Isolamento e proteção do local de risco | Todos os elementos de compartimentação têm um escalão de tempo igual ao exigido na regulamentação | 1,00 |
| 2.4 Compartimentação geral corta-fogo da área de intervenção | A compartimentação geral corta-fogo da AI respeita a regulamentação | 1,00 |
| 2.5 Isolamento e proteção entre utilizações-tipo distintas | Na AI à qual pertence a UA existem utilizações-tipo distintas que respeitam todas as exigências regulamentares | 1,00 |
| 2.6 Equipas de segurança | Vai existir uma equipa de segurança de acordo com o exigido na regulamentação | 1,00 |
| 2.7 Detecção, alerta e alarme de incêndio | A UA está equipada com um sistema de deteção de incêndio de acordo com o exigido na regulamentação | 1,00 |
| 2.8 Propagação pelo exterior | | |
| 2.8.1 Materiais de revestimento exteriores | A intervenção não envolve alterações nos materiais de revestimento exteriores | - |
| 2.8.2 Afastamento de vãos das fachadas | Nem todos os vãos pertencentes à UA e aos pisos adjacentes, situados na mesma prumada, apresentam afastamentos superiores ou iguais ao estabelecido na regulamentação | - |

| 3. Evacuação em caso de incêndio | | |
|--|---|------|
| 3.1 Saídas do local de risco | | 1,50 |
| 3.1.1 Número de saídas do local de risco | O número de saídas do local de risco é igual ao exigido na regulamentação | 1,00 |
| 3.1.2 Largura total das saídas do local de risco | | 2,00 |
| <i>Efetivo do local de risco</i> | 2 | |
| <i>Somatório da largura das saídas (m)</i> | 2,00 | |
| <i>Largura de ref. do somatório das larguras das saídas (m)</i> | 0,80 | |
| 3.2 Dimensões dos locais e das vias horizontais de evacuação | | |
| 3.2.1 Larguras dos vãos e das vias horizontais de evacuação | | |
| Local de risco | Existe | |
| Via horizontal no piso do local de risco | Existe | |
| Via horizontal até à saída para o exterior | Não existe | |
| 3.2.2 Distância a percorrer nas vias horizontais de evacuação | | |
| Percurso no interior do local de risco até à porta | Existe | |
| Percurso na via horizontal no piso do local de risco | Existe | |
| Percurso na via horizontal até à saída para o exterior | Não existe | |
| 3.3 Dimensões das vias verticais de evacuação | Existe | |

Fonte: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, editado pela autora

O método traz também uma análise do índice de segurança após intervenções de acordo com a legislação. Mesmo fazendo alterações conforme legislação, a edificação ainda apresenta índice de segurança a incêndio com valor igual a zero. Um dos fatores que contribuem para que o valor permaneça zero, é a presença de instalações de ventilação mecânica mesmo que estejam de acordo com as normas em vigor, o que evidencia a necessidade de uma análise e projeto de engenharia de incêndio na edificação. Entretanto o gráfico de segurança de incêndio evoluiu favoravelmente em comparação com o gráfico anterior.

4.2 Modelagem 3d e simulação no Pyrosim

O edifício JK foi inicialmente modelado no software CAD e posteriormente transferido para o REVIT 2023. Essa ação permitiu a utilização do software simulador de incêndio PyroSim, ambos com licença para uso acadêmico.

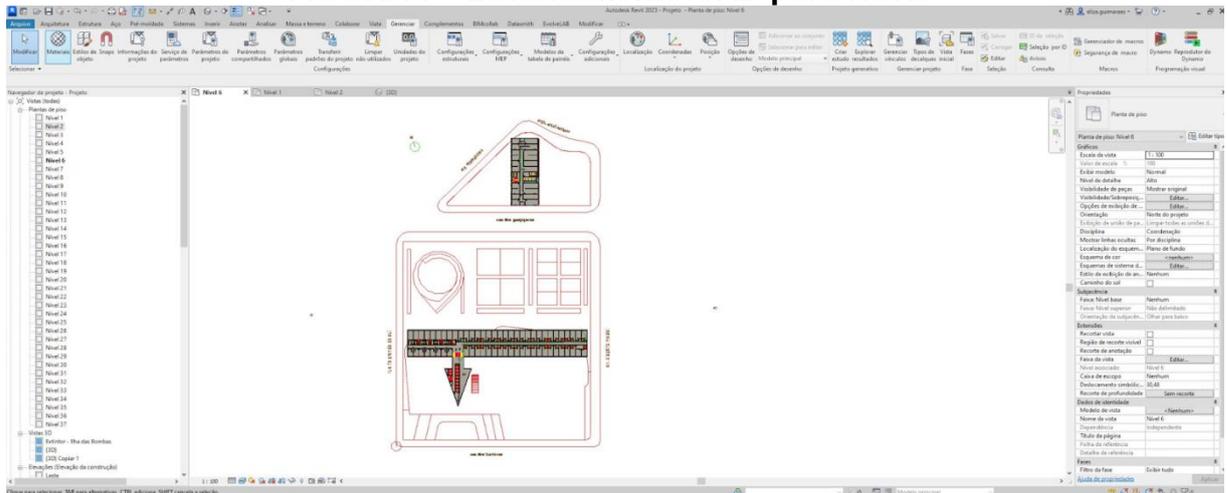
O objetivo principal foi realizar simulações com base nos resultados das análises de riscos na fase de modelos virtuais, antes de implementá-los no local e monitorar seu comportamento.

Essa abordagem proporcionou uma avaliação prévia da segurança contra incêndios, permitindo aprimorar e validar as medidas preventivas e de segurança antes da execução física do projeto.

No entanto, é importante ressaltar que a transformação das plantas 2D em modelos 3D pode não representar completamente a realidade da edificação. Embora o modelo tenha atingido o nível de desenvolvimento LOD 3, é necessário realizar uma

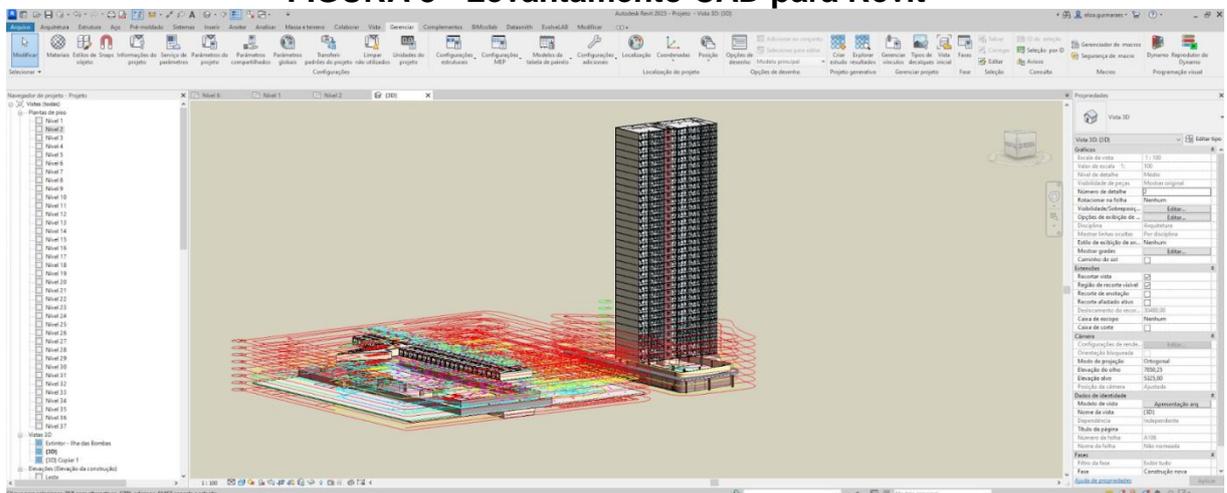
conferência em campo bem como projetos complementares, como o AVCB, projetos elétricos e hidráulicos para certificar-se dos elementos para uma modelagem final com LOD mais elevado para obter maior precisão nos resultados gerados pelo PyroSim e criar um "irmão gêmeo digital" fiel à edificação original.

FIGURA 7 - Levantamento CAD para Revit



Fonte: Elaborado pela Autora

FIGURA 8 - Levantamento CAD para Revit



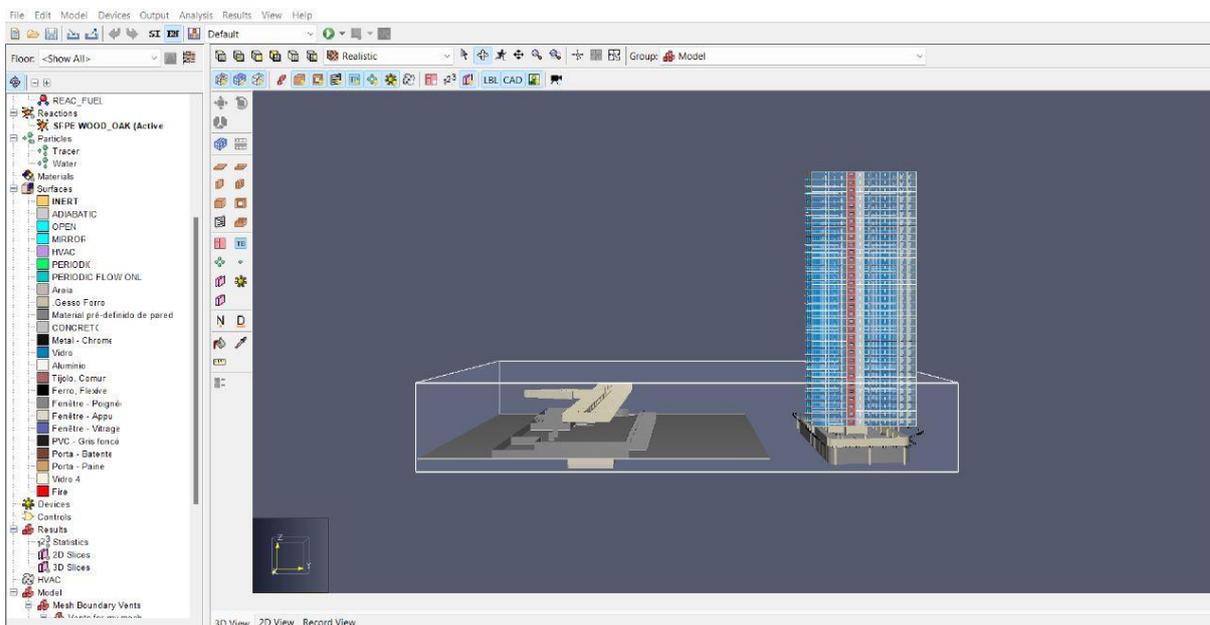
Fonte: Elaborado pela Autora

Ao importar um arquivo do Revit para o PyroSim, não é necessário recriar as geometrias. O PyroSim utiliza as geometrias do arquivo do Revit para gerar o código Fire Dynamics Simulator, permitindo o ajuste na geometria existente para criar o seu modelo de fogo.

Essa importação é feita por meio do formato IFC. Dessa forma, o processo se torna mais eficiente, pois pode se aproveitar diretamente as informações geométricas do

modelo do Revit e se concentrar na configuração dos parâmetros específicos para simular o fogo no PyroSim.

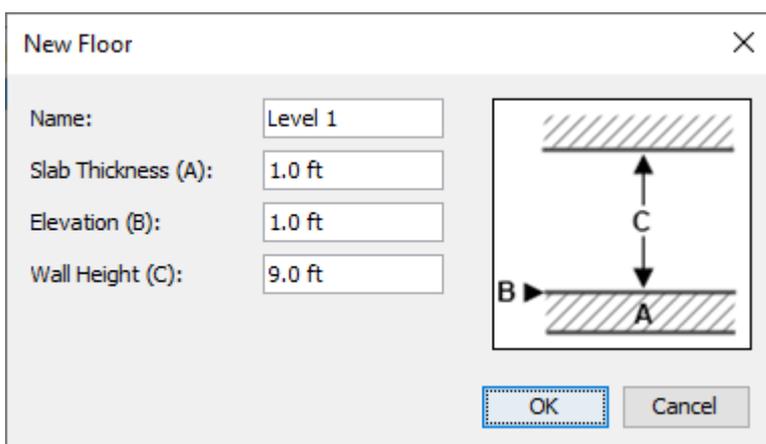
FIGURA 9 - Modelo 3d convertido para FDS



Fonte: Elaborado pela Autora

Dentro do PyroSim foi necessário determinar a altura nos níveis, lajes e paredes. O valor foi convertido para Pés.

FIGURA 10 - Modelo 3d convertido para FDS



Fonte: Elaborado pela Autora

O PyroSim calcula automaticamente as novas medidas para o seu piso com a suposição de que a espessura da laje e a altura da parede são as mesmas do piso anterior. Feito isso, é necessário rever toda sua geometria importada para o software, definir o fogo, vento e malha de abrangência.

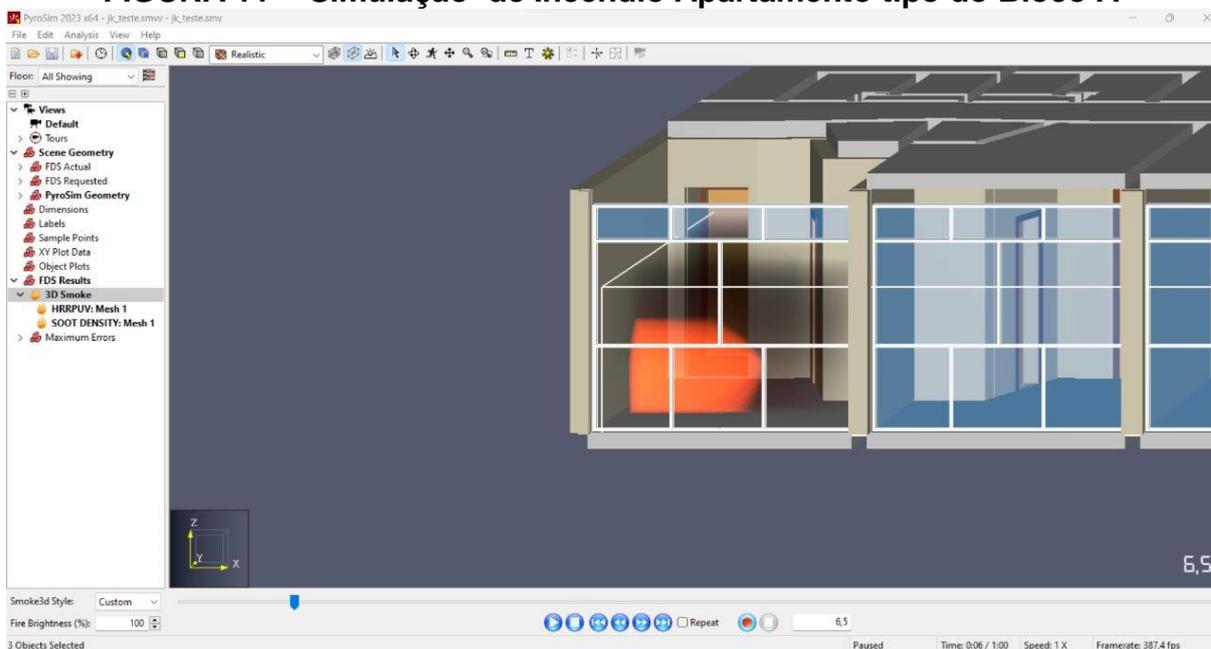
Existem muitas configurações e abordagens diferentes para definir fogo e combustão em PyroSim e FDS. Cada abordagem envolve muitas decisões de engenharia diferentes, o que a torna um tópico complexo na modelagem de incêndios, por isso optou por uma simulação simples.

Para a primeira simulação foi escolhido um apartamento tipo B do bloco A com 15 m². O objeto proposto foi um colchão de mola, os dados de combustão do objeto foram extraídos da Universidade de Maryland, que proscreve uma taxa máxima de liberação de calor de 660 kW.

Foi estipulado um tempo máximo de 60 segundos para a simulação por se tratar de uma simulação simplificada.

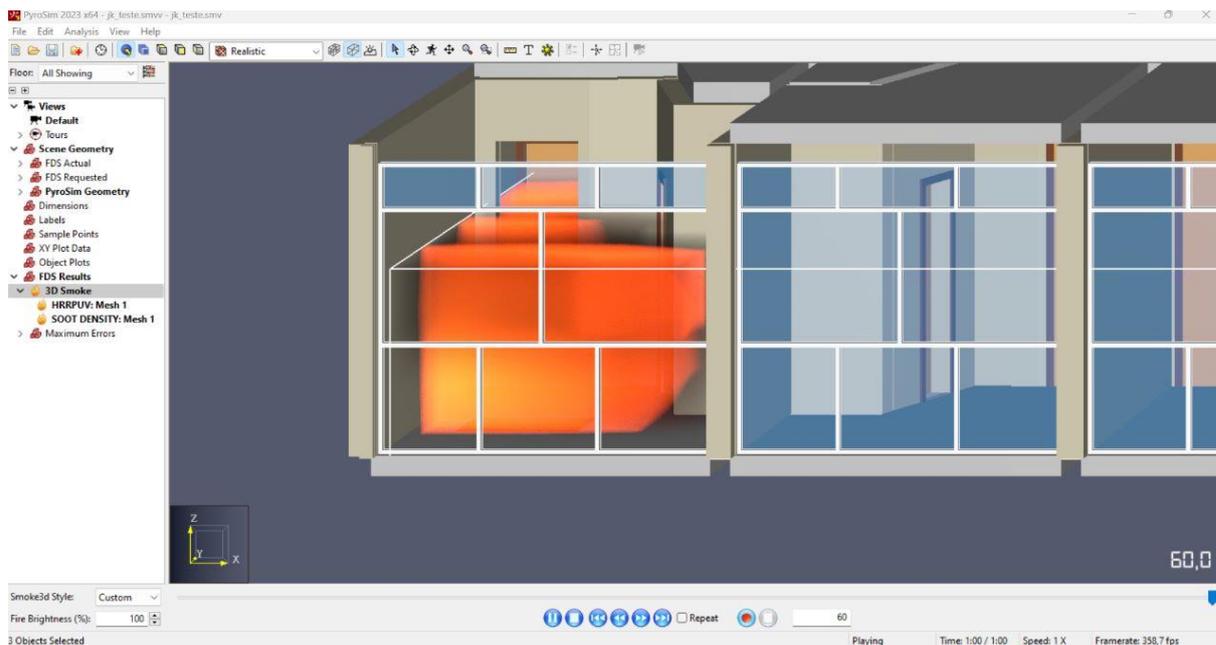
A simulação também ocorre no corredor a fim de analisar o comportamento da fumaça em caso de incêndio.

FIGURA 11 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A



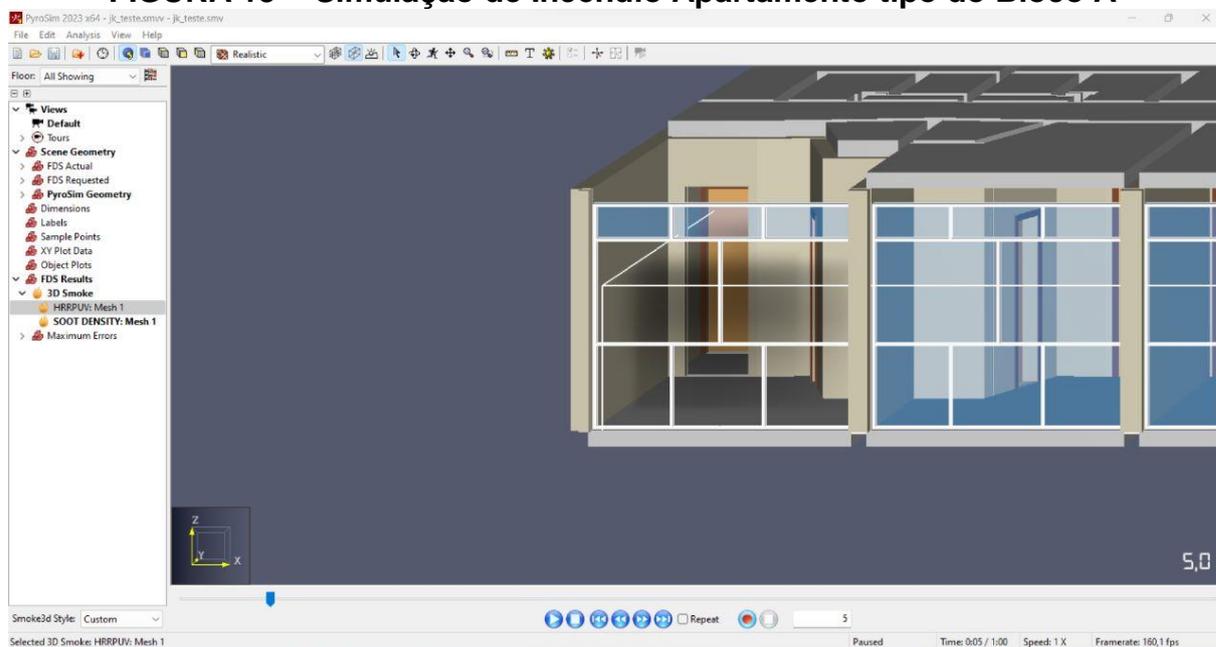
Fonte: Elaborado pela Autora

FIGURA 12 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A



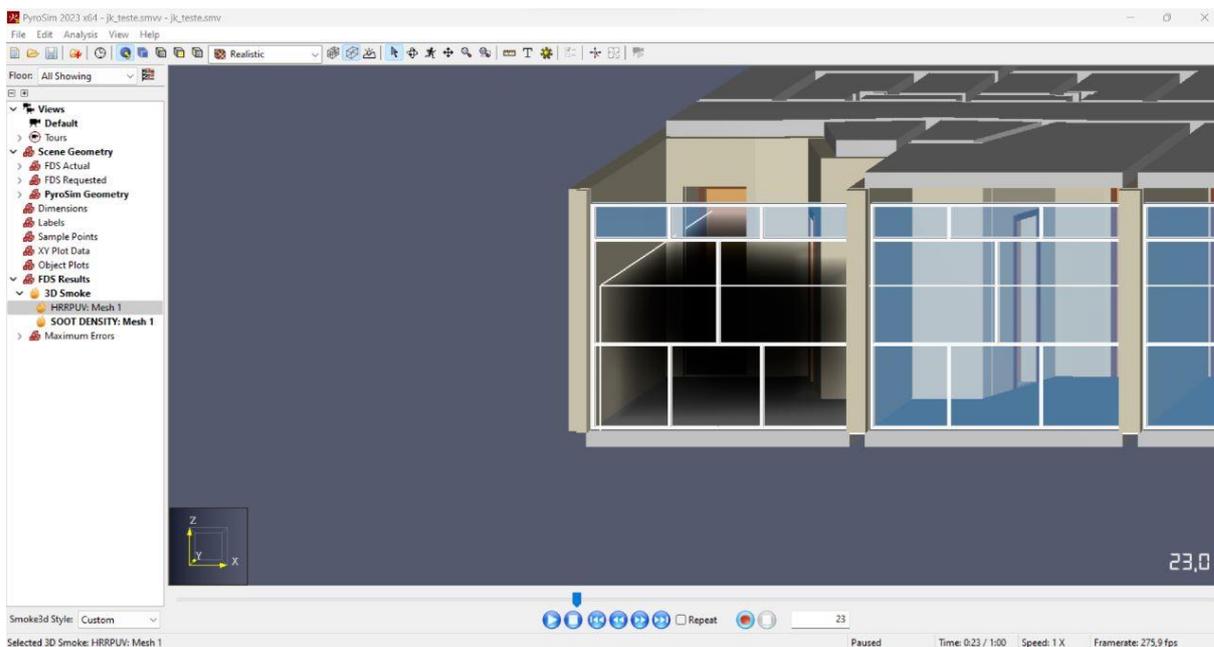
Fonte: Elaborado pela Autora

FIGURA 13 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A



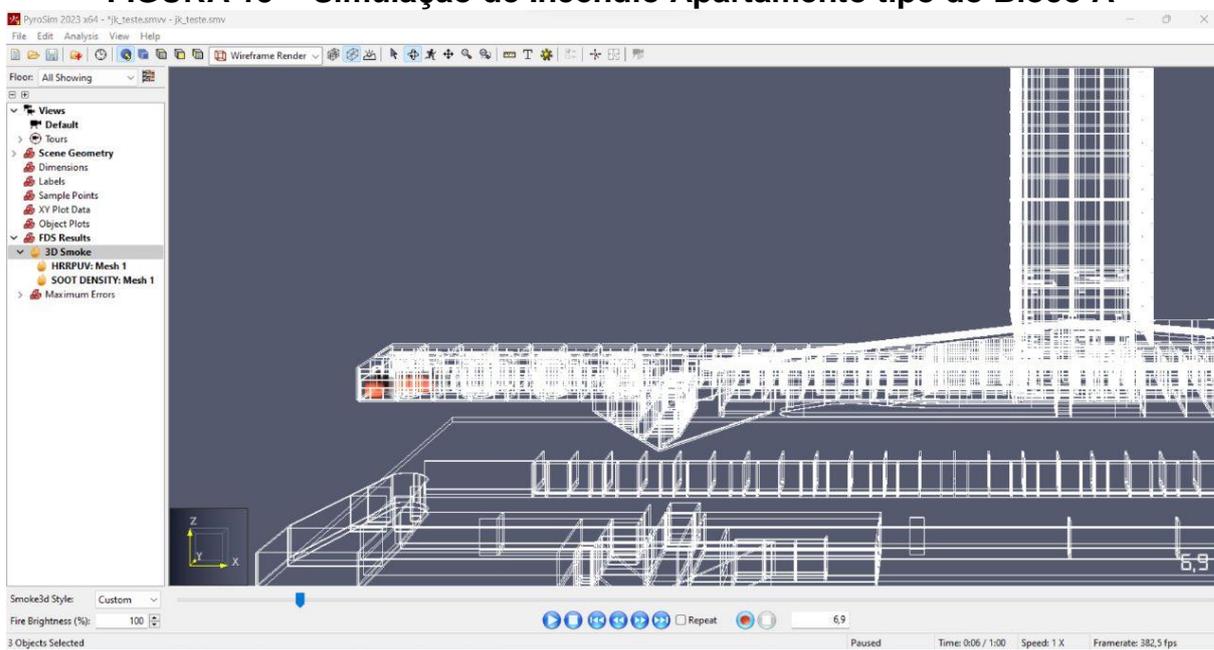
Fonte: Elaborado pela Autora

FIGURA 14 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A

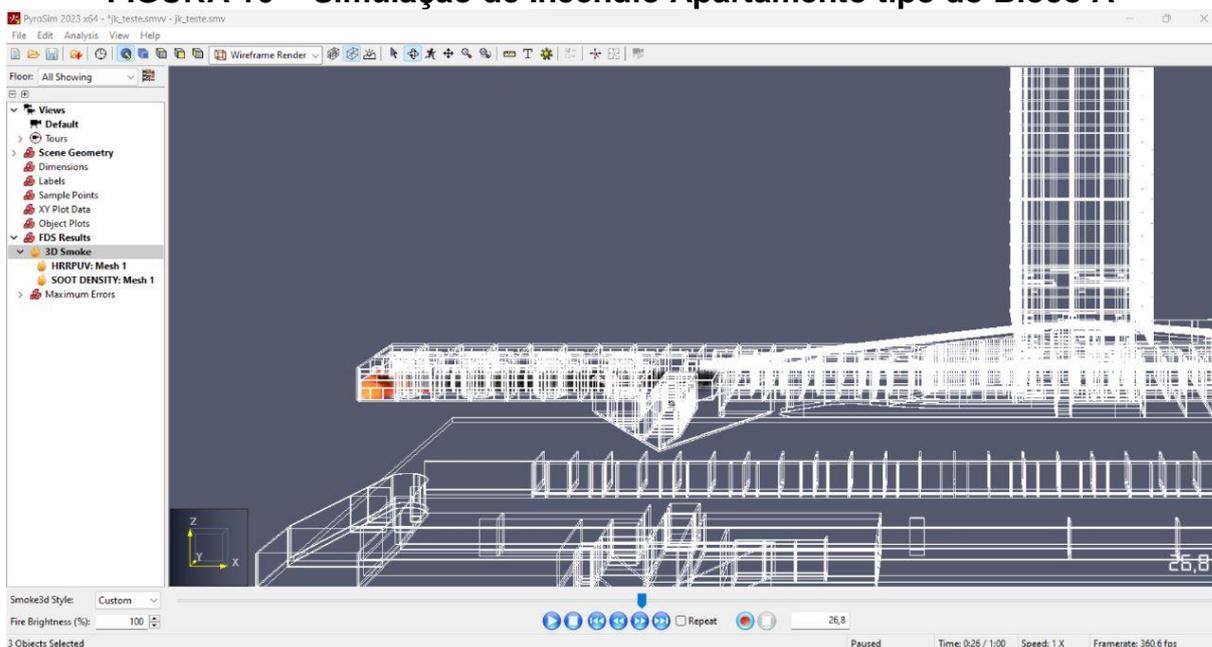


Fonte: Elaborado pela Autora

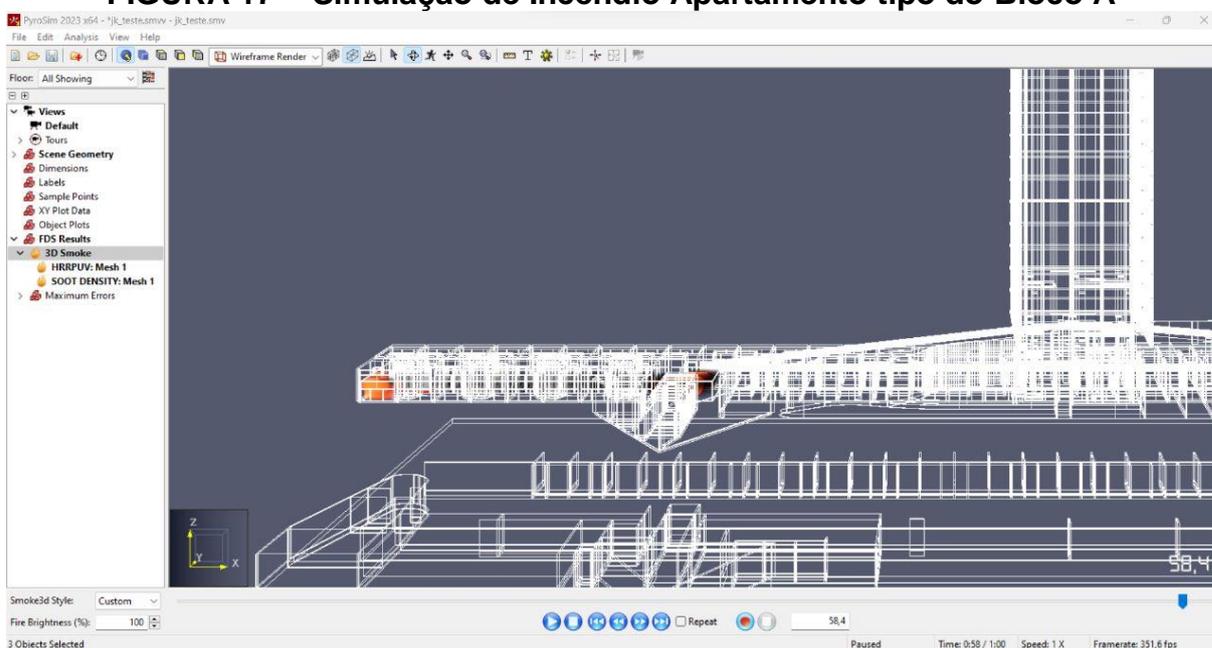
FIGURA 15 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A



Fonte: Elaborado pela Autora

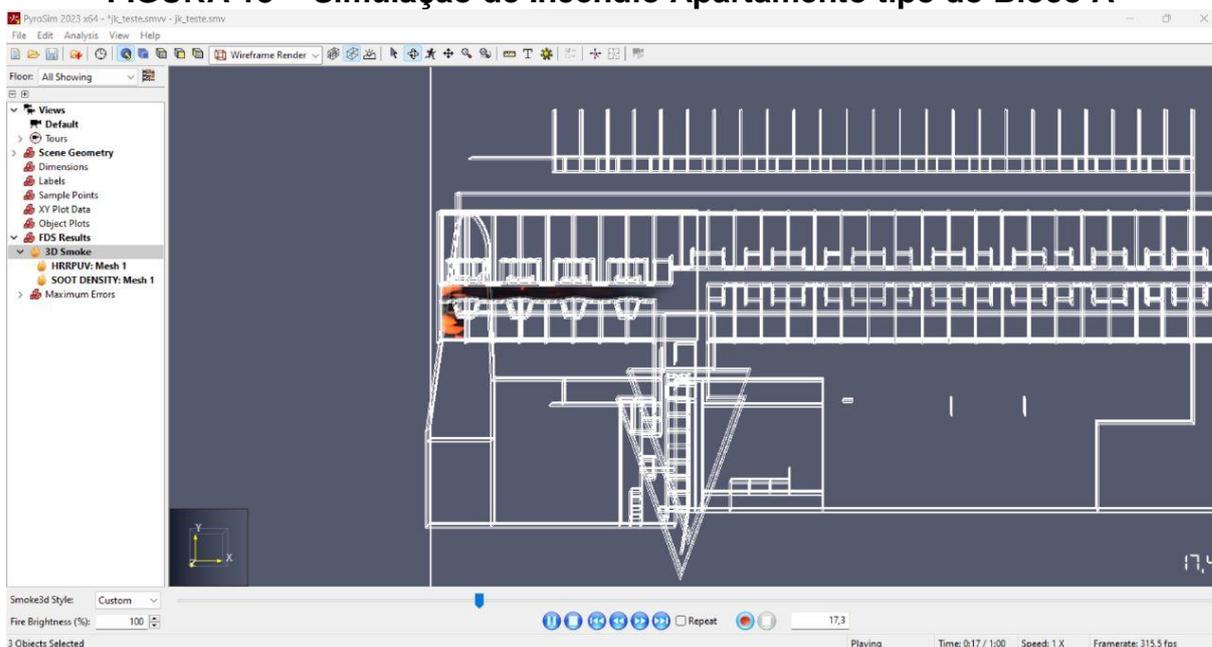
FIGURA 16 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A

Fonte: Elaborado pela Autora

FIGURA 17 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A

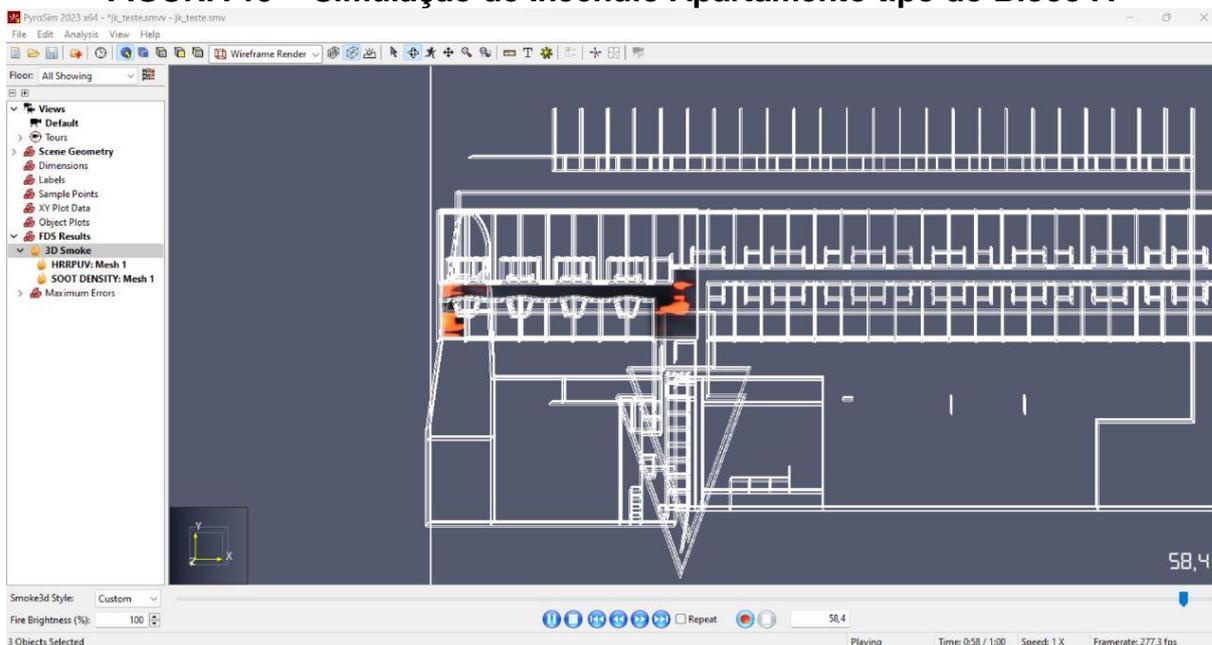
Fonte: Elaborado pela Autora

FIGURA 18 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A



Fonte: Elaborado pela Autora

FIGURA 19 - Simulação de Incêndio Apartamento tipo do Bloco A

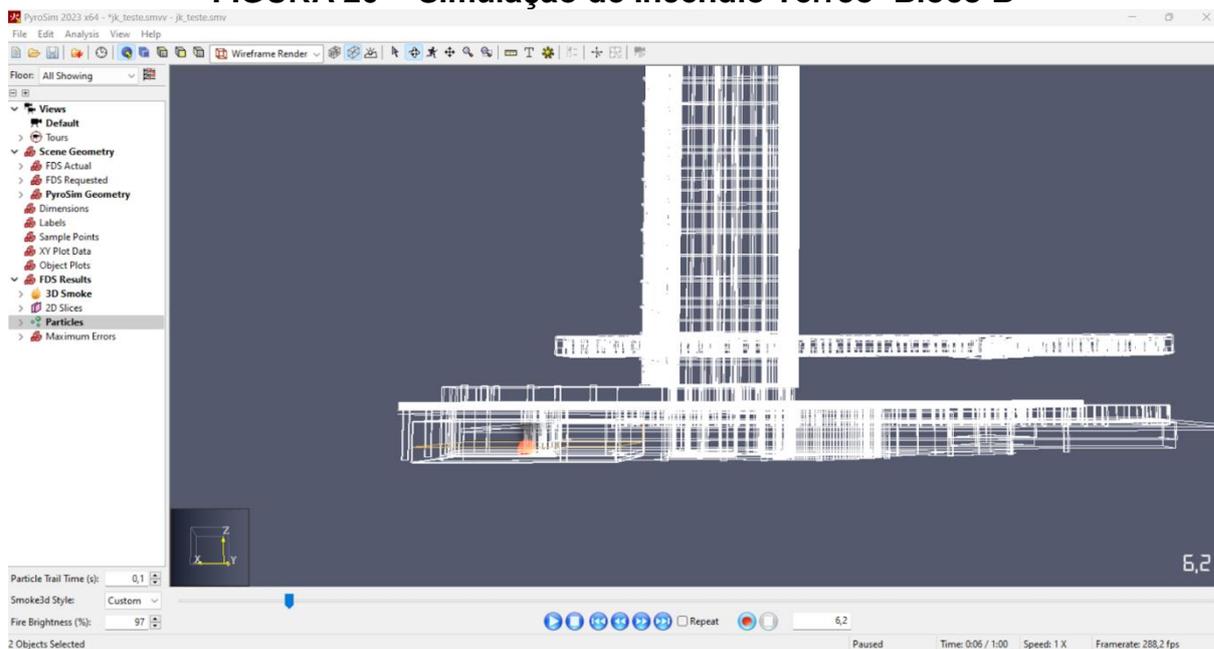


Fonte: Elaborado pela Autora

A segunda simulação foi feita no pavimento térreo com acesso pela Rua dos Guajajaras no bloco B.

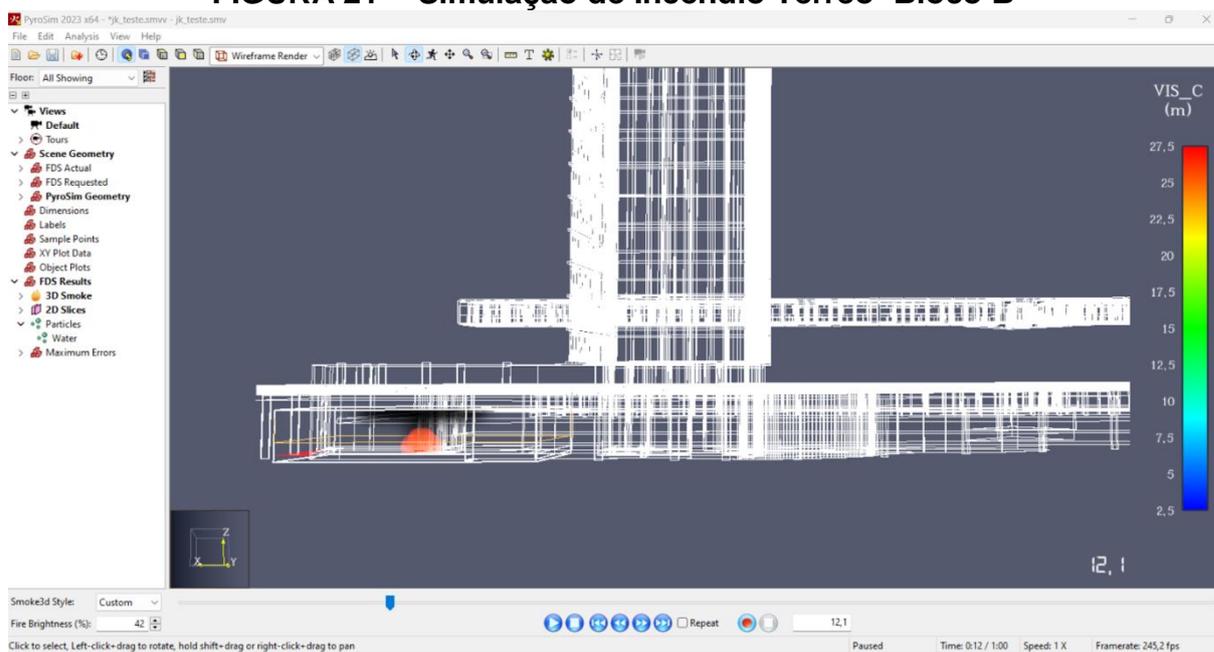
O cenário proposto ocorre através de um pane na rede elétrica.

FIGURA 20 - Simulação de Incêndio Térreo Bloco B



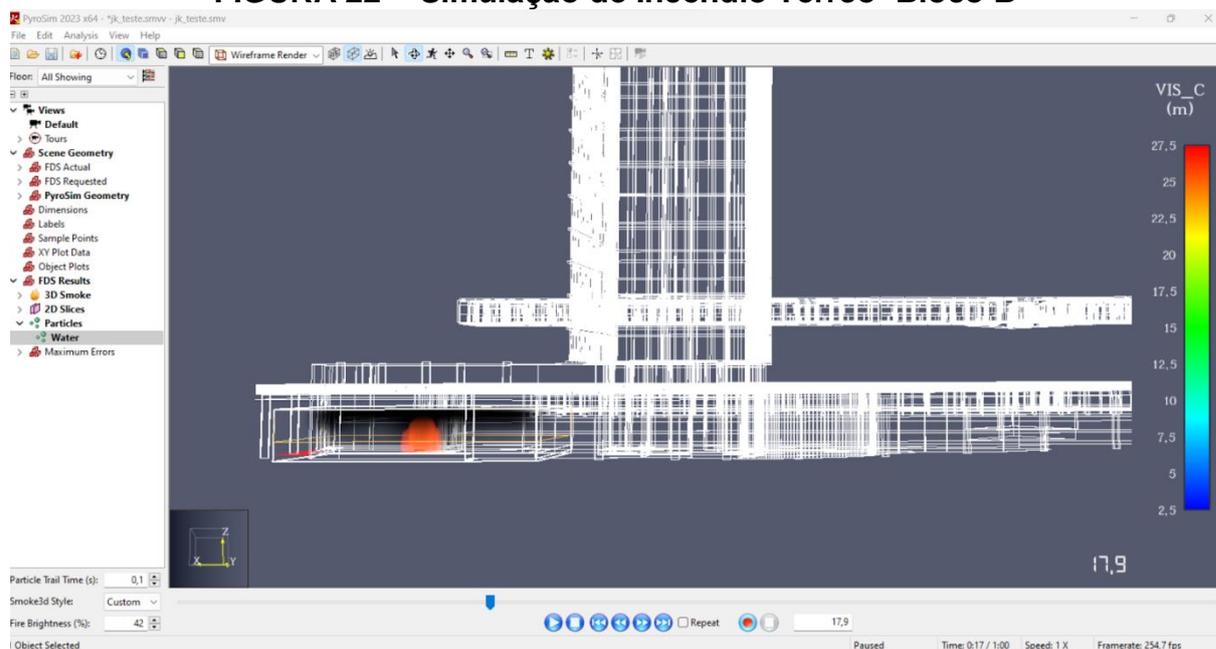
Fonte: Elaborado pela Autora

FIGURA 21 - Simulação de Incêndio Térreo Bloco B



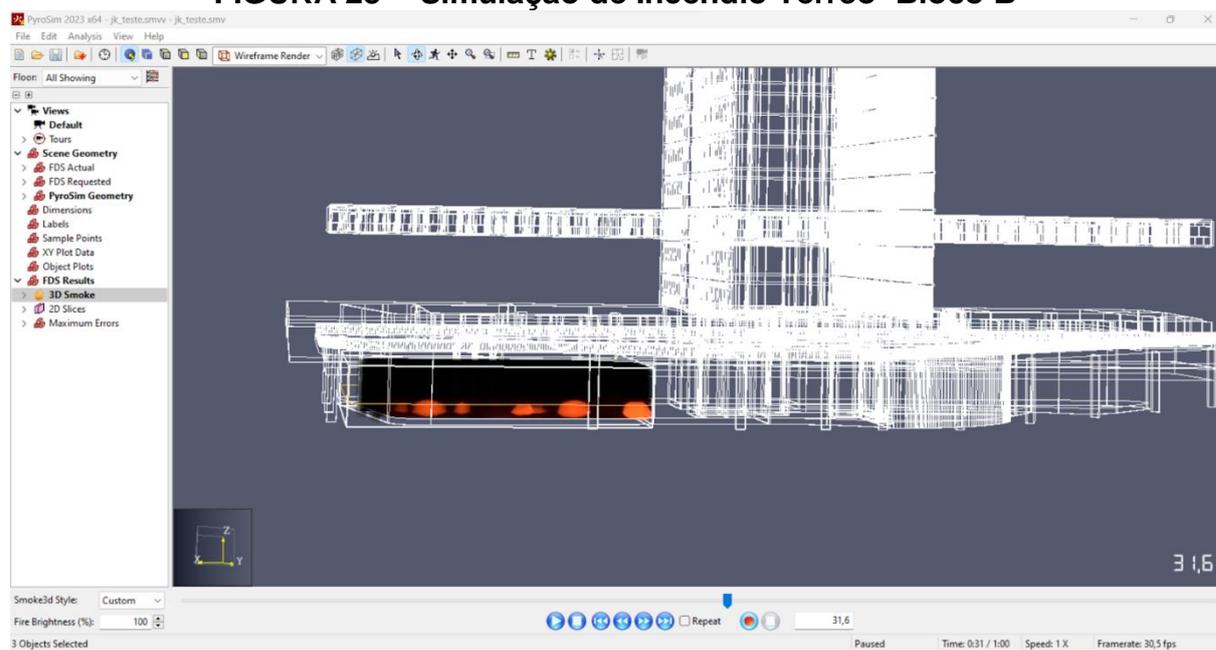
Fonte: Elaborado pela Autora

FIGURA 22 - Simulação de Incêndio Térreo Bloco B

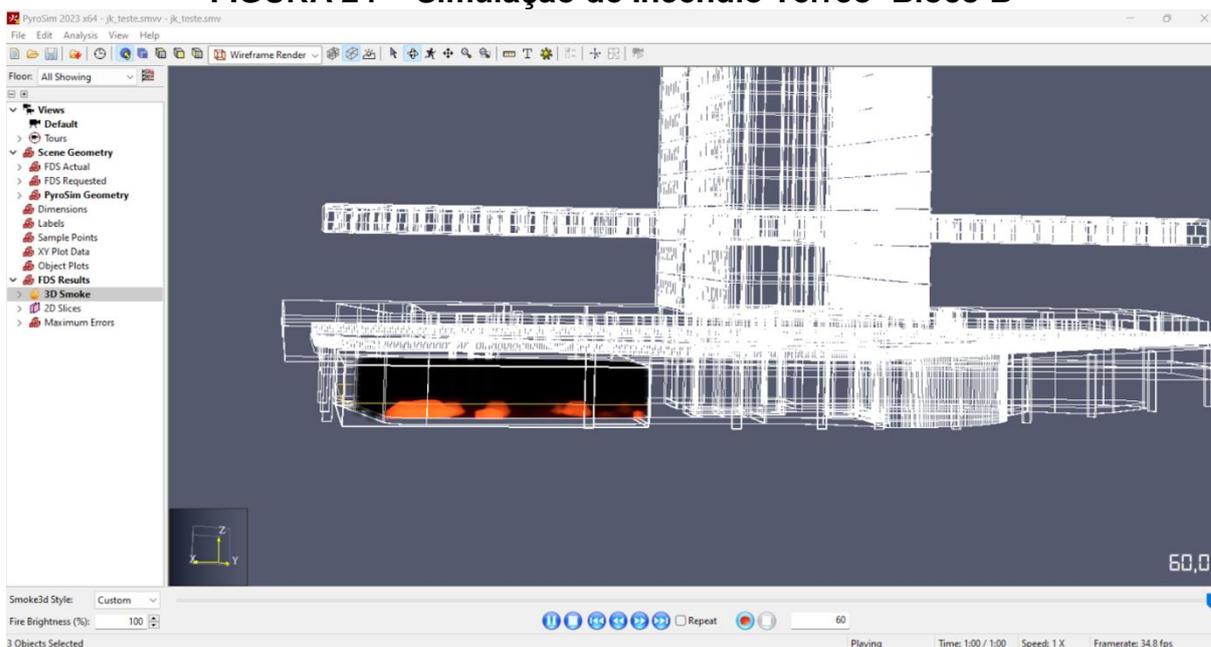


Fonte: Elaborado pela Autora

FIGURA 23 - Simulação de Incêndio Térreo Bloco B



Fonte: Elaborado pela Autora

FIGURA 24 - Simulação de Incêndio Térreo Bloco B

Fonte: Elaborado pela Autora

4.2.1 Automação no Revit

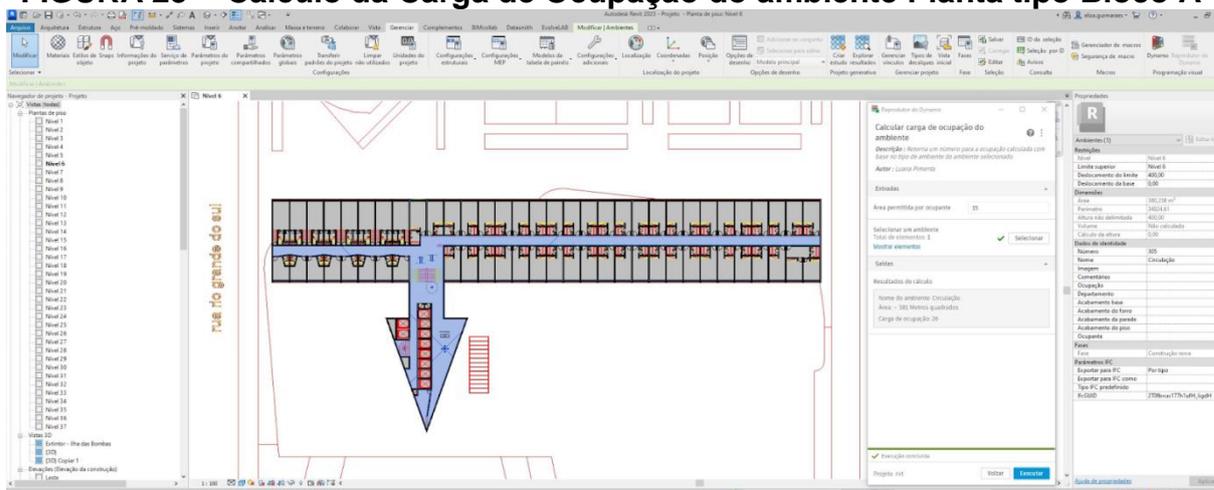
Com o objetivo de avançar, automatizar e agilizar esse processo, também foi utilizada a ferramenta Dynamo que se trata de uma plataforma de programação visual que permite a criação de scripts personalizados para executar tarefas específicas em modelos BIM.

4.2.2 Desenvolvimento do Script

O script desenvolvido automatiza duas etapas fundamentais da análise de risco de incêndio. Inicialmente, foram coletados dados essenciais do edifício JK, tais como a disposição das rotas de fuga, as dimensões das áreas de circulação e a localização das saídas de emergência.

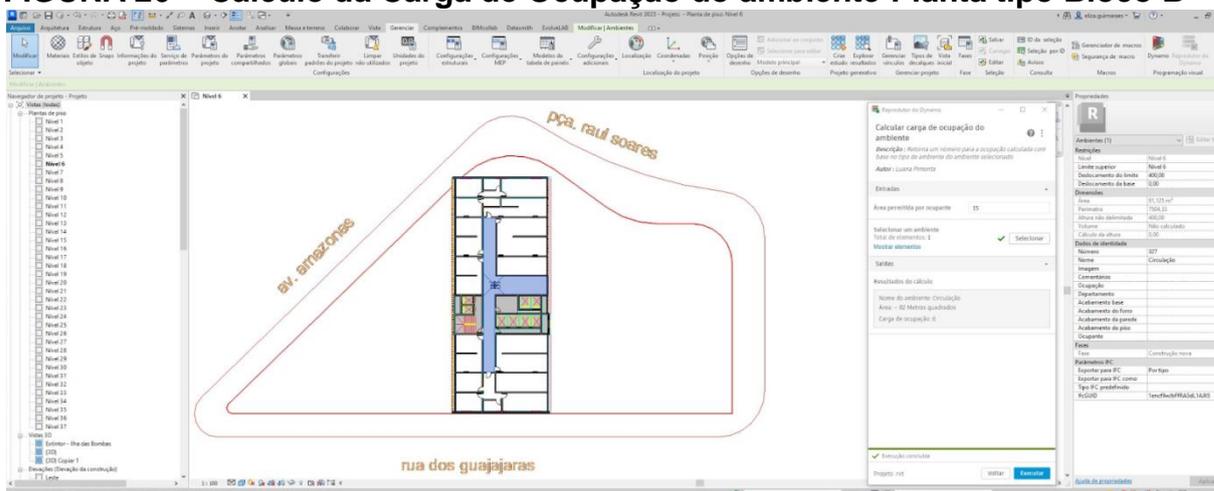
Na primeira análise, o script utiliza esses dados para estimar a lotação ideal em cada área de circulação, considerando as normas e regulamentações de segurança contra incêndios.

FIGURA 25 - Cálculo da Carga de Ocupação do ambiente Planta tipo Bloco A



Fonte: Elaborado pela Autora

FIGURA 26 - Cálculo da Carga de Ocupação do ambiente Planta tipo Bloco B

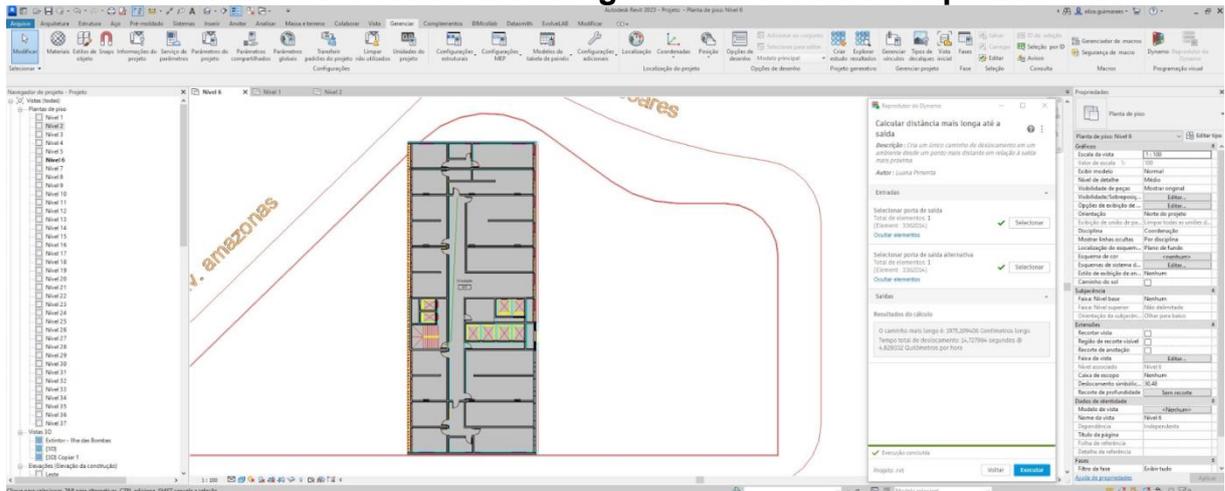


Fonte: Elaborado pela Autora

A capacidade máxima de pessoas permitida em cada espaço foi calculada, possibilitando uma visão clara das condições de evacuação em diferentes regiões do edifício.

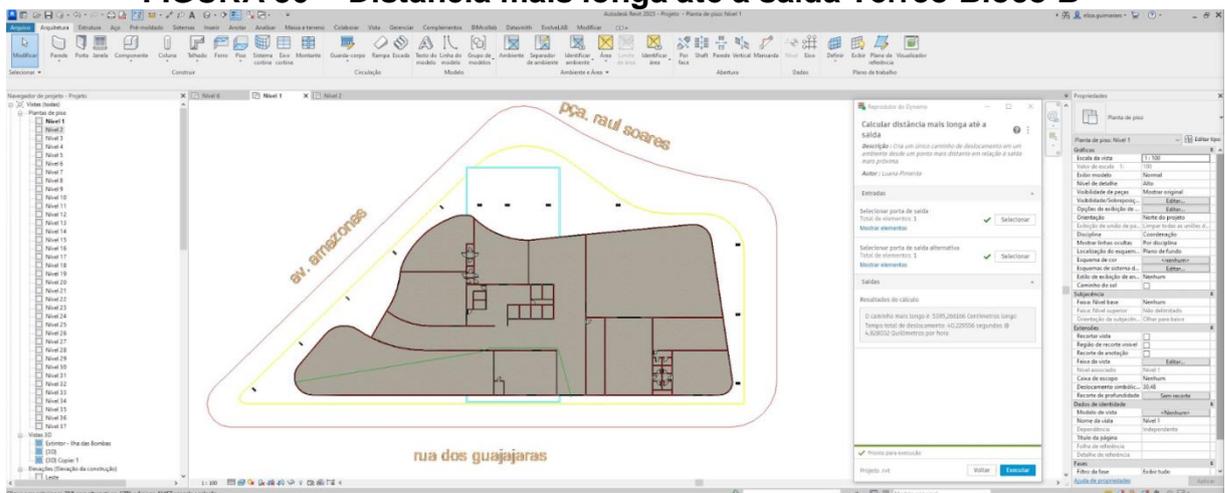
Na segunda análise, o script avaliou e estimou o tempo de deslocamento de entre os pontos de origem dos ocupantes dentro da edificação e as saídas de emergência mais próximas. Essa análise forneceu informações essenciais sobre o tempo de evacuação necessário em caso de incêndio, permitindo identificar áreas de risco potencial ou possíveis gargalos no processo de evacuação.

FIGURA 29 - Distância mais longa até a saída Planta tipo Bloco B



Fonte: Elaborado pela Autora

FIGURA 30 - Distância mais longa até a saída Térreo Bloco B



Fonte: Elaborado pela Autora

5. Resultados

A automação da análise de risco com incêndio por meio do script desenvolvido consegue entregar benefícios significativos para a segurança das edificações. A aplicação da metodologia de Gêmeos Digitais e a automação da análise de risco com incêndio através de Dynamo e Revit demonstram ser uma poderosa combinação para aprimorar a segurança em edificações já existentes.

Ao cruzar as informações trazidas pelo Revit através da programação feita pelo Dynamo acerca das rotas de fuga, tempo estimado para evacuação por pessoa e o comportamento do fogo analisado através do Pyrom, foi possível observar que o tempo não é suficiente, sendo necessário medidas mitigadoras já que o Edifício em questão não demanda de antecâmaras, escadas de segurança, porta corta fogo, e dispositivos de evacuação de fumaça, sprinklers entre outros.

Com base nestas análises se mostra pertinente para uma próxima fase de estudo conseguir trazer os dados e simulações do Pyrom para o Revit através de automação, já que muitos dos objetos ao serem importados em formato IFC necessitam ser traduzidos para o software ocasionando um perca de tempo considerável, além de que quantos mais dados forem carregados, mais tempo e até dias se tornam necessários para processar a simulação o que possivelmente seria mitigado com a automação em uma única plataforma dotada de todas as informações necessárias.

6 . CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao abordar a prevenção e combate a incêndio em edificações tombadas gerando um modelo tridimensional passível de simulações por softwares como o Pyrosim, juntamente com métodos de análise de gestão de risco, o trabalho apresenta uma abordagem abrangente e cuidadosa para proteger e preservar edifícios históricos contra incêndios.

O uso do Pyrosim para realizar simulações se mostra eficiente para avaliar o comportamento do fogo e entender como um incêndio pode se desenvolver em uma edificação tombada. Entretanto com o auxílio do Revit é possível criar modelos digitais precisos e detalhados das edificações gerando assim um gêmeo digital da estrutura que pode ajudar a identificar áreas de maior risco de incêndio e a otimizar a colocação de sistemas de proteção, como sprinklers, extintores e saídas de emergência.

Através da automação feita pelo Dynamo, o modelo tridimensional permitiu realizar simulações adicionais de evacuação, analisando a eficácia das rotas de fuga e a capacidade de resposta em situações de emergência.

A análise de gestão de risco é um passo importante para identificar potenciais ameaças e vulnerabilidades específicas da edificação tombada em relação a incêndios. Ao avaliar fatores como a estrutura do edifício, a presença de materiais inflamáveis, o acesso de bombeiros, as saídas de emergência e outros aspectos, é possível propor medidas de prevenção e mitigação adequadas para reduzir o risco de incêndio.

É importante ressaltar a relevância de se preocupar com a proteção contra incêndio em edificações tombadas, pois esses espaços carregam um valor histórico e cultural inestimável. Um incêndio pode causar danos irreparáveis e resultar na perda de patrimônio cultural, por isso, a prevenção é fundamental para garantir a preservação desses.

Ademais, ao trabalhar com edificações tombadas, a implementação de medidas de prevenção e combate a incêndios deve ser feita com extremo cuidado, levando em conta a integridade da estrutura histórica. Isso pode envolver a adoção de tecnologias e sistemas de proteção modernos que sejam eficazes sem comprometer a autenticidade e integridade do edifício.

Por fim, o trabalho representa uma contribuição para a segurança e preservação do patrimônio histórico, fornecendo estratégias tecnológicas para a prevenção e combate a incêndios em edificações tombadas. Combinar simulações avançadas e métodos de análise de gestão de risco é uma abordagem abrangente que pode beneficiar não apenas as edificações em estudo, mas também influenciar práticas de segurança em outras construções históricas semelhantes.

REFERÊNCIAS

CRUZ, T. M.; ALMEIDA, M. V. A transformação digital na construção civil: perspectivas para a indústria no Brasil. Cadernos de Prospecção, v. 14, n. 3, p. 634-647, 2021. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/357107234_A_transformacao_digital_na_construcao_civil_perspectivas_para_a_industria_no_Brasil. Acesso em: 10 abr. 2023.

FELIPPE, M. R. et al. Digital Twin: Conceito, Aplicações e Desafios. Revista Brasileira de Computação Aplicada, v. 10, n. 2, p. 9-21, 2018. Disponível em: <http://seer.upf.br/index.php/rbca/article/view/7583>. Acesso em: 10 abr. 2023.

GUERREIRO, DEIVISON. Análise numérica e simulação de incêndio aplicadas em projetos de proteção contra incêndio em edificações com o uso de software computacional. Disponível em <https://inbec.com.br/blog/analise-numerica-simulacao-incendio-aplicadas-projetos-protecao-contra-incendio-edificacoes-com-uso-software-computacional>. Acesso em: 02 abr. 2023.

JONES, SARAH. Gêmeo digital: modelo de dados inteligente pode moldar o mundo construído. Autodesk. Disponível em de <https://www.autodesk.com/br/design-make/articles/gemeo-digital#3>. Acesso em 07 de Ago

JUNIOR, A. F.; AQUINO, A. L. A.; CAMARGO, J. R.; LOPES, J. A. M. A aplicação do BIM na modelagem de edificações existentes: estudo de caso. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 25-41, jul./set. 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212020000300025&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 02 abr. 2023.

KRÜGER, P.G.V.; SILVA, F.J.; LASMAR, E.E.; CASTANHEIRA, A.C.; CHAGAS, A.S.Q.; OLIVEIRA, C.N.; GONÇALVES, L.O. Análise comparativa entre metodologias de avaliação de risco de incêndio em Ouro Preto. In: Congresso Internacional na “Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios”, Rio de Janeiro: UFRJ, v.5, 2020.

MINERVINO, BERNARDETE. Método de Gretener. Disponível em analisederiscodeincendio.com.br/metodos/metodo-de-gretener/. Acesso em 03 set. 2023.

PARK, C. et al. Digital Twin for Construction: A Critical Review. *Automation in Construction*, v. 129, p. 103506, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580521001070>. Acesso em: 02 abr. 2023.

Ribeiro, J. A., & Salgado, M. C. (2019). Panorama da segurança contra incêndio no Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia de Segurança*, 9(2), 35-46.

UNESCO. (2003). *Convention for the safeguarding of the intangible cultural heritage*. UNESCO

LABORATORIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. Método Arica. Disponível em <https://www.lnec.pt/pt/servicos/ferramentas/br-arica-2019>. Acesso em 07 de Ago 2023.