



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

FÁBIO MAURICIO RODRIGUES PEREIRA

**ANÁLISE NUMÉRICA DE INCÊNDIO EM AMBIENTE
COMPARTIMENTADO HORIZONTALMENTE**

**VITÓRIA
2020**

FÁBIO MAURICIO RODRIGUES PEREIRA

**ANÁLISE NUMÉRICA DE INCÊNDIO EM AMBIENTE
COMPARTIMENTADO HORIZONTALMENTE**

Projeto de pesquisa para qualificação a ser apresentado ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Estruturas.

Orientador: Professor Dr. Macksuel Soares de Azevedo.

**VITÓRIA
2020**

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

P436a Pereira, Fabio Mauricio Rodrigues, 1977-
 Análise numérica de incêndio em ambiente
 compartimentado horizontalmente / Fabio Mauricio Rodrigues
 Pereira. - 2020.
 214 f. : il.

 Orientador: Macksuel Soares de Azevedo.
 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade
 Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

 1. Engenharia de incêndio. 2. Análise numérica. I.
 Azevedo, Macksuel Soares de. II. Universidade Federal do
 Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 624

FÁBIO MAURICIO RODRIGUES PEREIRA

ANÁLISE NUMÉRICA DE INCÊNDIO EM AMBIENTE COMPARTIMENTADO HORIZONTALMENTE

Projeto de pesquisa apresentado ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração Estruturas, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para avaliação.

COMISSÃO EXAMINADORA

Professor Dr. Macksuel Soares de Azevedo

Universidade Federal do Espírito Santo

(Orientador)

Professor Dra. Cristina Engel de Alvarez

Universidade Federal do Espírito Santo

Professor Dr. George Cajaty Barbosa Braga

Cel QOBM/Compl. Físico

Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal

Dedico este trabalho com todo meu amor a Carla, Caio e Davi, minha esposa e filhos que me apoiaram e incentivaram durante todo o longo período de desenvolvimento desta dissertação.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Macksuel Soares de Azevedo, por toda a confiança, apoio e orientação, sem a qual este trabalho jamais teria se concretizado.

Ao Professor Doutor George Cajaty Barbosa Braga, Cel QOBM/Compl. Físico do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal por todo o auxílio e tempo dispendido.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da UFES que possibilitou curso gratuito de qualidade, acesso à pesquisadores e professores de alto padrão técnico e infraestrutura e equipamentos indispensáveis para a realização deste trabalho.

Ao Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Espírito Santo que apoiou de forma irrestrita todas as etapas de produção desta pesquisa.

À Carla do Amaral Rocha Pereira que me apoiou e incentivou durante todo o período demandado pela elaboração dessa dissertação, além de todo o companheirismo e cumplicidade.

RESUMO

Não existe no Brasil norma da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) que trata da compartimentação como ferramenta de segurança contra incêndio. Os estados da federação, entretanto, editam normas ou instruções técnicas que, uma vez publicadas, tem validade na unidade federativa de origem. São normas prescritivas que muitas vezes não foram testadas e verificadas no que diz respeito a sua eficácia em evitar a propagação do incêndio. Além disso, as regras prescritivas de compartimentação horizontal não são consideradas por códigos de edificações editados por municípios o que, especialmente em polos comerciais, permite a distribuição com afastamento nulo entre edificações vizinhas. Por outro lado, os ambientes de incêndio são complexos e imprevisíveis. Normalmente, são geridos por uma grande quantidade de variáveis e condições de contorno. O ensaio experimental é dispendioso, inseguro e de difícil controle e padronização. Por esse motivo, as ferramentas de dinâmica computacional dos fluidos (CFD) surgem como uma solução viável, segura e econômica para simulação numérica de incêndio. O programa computacional Fire Dynamics Simulator (FDS) possui a propriedade de reproduzir os incêndios com uma aproximação muito grande dos resultados de ensaios laboratoriais. Sendo assim, esta pesquisa realizou simulações numéricas computacionais com o uso de ferramenta CFD, denominada Fire Dynamics Simulator, em ambientes de incêndios. Foi verificado que as regras de afastamentos entre edificações na norma em vigor não impedem a propagação horizontal do incêndio no caso de edificações distintas e confrontes e; é provável, mas não certo, que haja propagação de incêndio entre unidades autônomas vizinhas para o caso de aberturas adjacentes em um mesmo plano. Foi verificado que os afastamentos laterais inferiores ao previsto em norma de lojas em polos comerciais não impedem a propagação horizontal de incêndio entre unidades autônomas vizinhas. As normas de propagação horizontal de incêndio precisam ser reformuladas para se tornarem mais eficientes e eficazes na segurança contra incêndio.

Palavras-chave: Compartimentação horizontal; Fire Dynamics Simulator; Segurança contra incêndio; Computational Fluid Dynamics.

ABSTRACT

There is no ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) standard in Brazil that deals with compartmentalization as a fire safety tool. The states of the federation, however, issue norms or technical instructions that, once published, are valid in the federative unit of origin. These are prescriptive standards that have often not been tested and verified with regard to their effectiveness in preventing the spread of fire. In addition, the prescriptive rules of horizontal compartmentalization are not considered by building codes issued by municipalities, which, especially in commercial centers, allows the distribution with zero spacing between neighboring buildings. On the other hand, fire environments are complex and unpredictable. They are usually managed by a large number of variables and boundary conditions. The experimental test is expensive, unsafe and difficult to control and standardize. For this reason, computational fluid dynamics (CFD) tools appear as a viable, safe and economical solution for numerical fire simulation. The computer program Fire Dynamics Simulator (FDS) has the property of reproducing fires with a very close approximation of the results of laboratory tests. Therefore, this research carried out numerical computer simulations using a CFD tool, called Fire Dynamics Simulator in fire environments. It was found that the rules for clearances in the horizontal compartment in force do not prevent the horizontal spread of the fire in the case of different buildings confrontations and; it is likely, but not certain, that there will be a fire spread between neighboring units in the case of adjacent openings in the same wall. It was verified that the existing distances between commercial stores in street commercial centers that are lower than the norm does, not prevent the horizontal spread of fire between neighboring autonomous stores. The horizontal fire propagation standards need to be reformulated to become more efficient and effective in fire safety.

Keywords: Horizontal compartmentalization; Fire Dynamics Simulator; Fire safety; Computational Fluid Dynamics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Incêndio do edifício Wilton Paes no Largo de Paysandu, São Paulo.....	21
Figura 2.1 - Imagem ilustrativa sobre o funcionamento do Termopar	32
Figura 2.2 - Desenvolvimento de incêndio real limitado por combustível no interior de compartimentos.....	33
Figura 2.3 - Efeito do enclausuramento na taxa de queima do Polimetilmetacrilato (reservatório retangular 0,76m x 0,76m)	34
Figura 2.4 - Distribuição vertical da temperatura de um incêndio em compartimento	36
Figura 2.5 - Taxa de queima de berços de madeira em incêndio compartimentado em função do fator de ventilação	38
Figura 2.6 - Temperaturas dos gases de incêndio em compartimentos em função do fator de abertura.....	39
Figura 2.7 - Temperaturas dos gases de incêndio em compartimentos em função do fator de ventilação	40
Figura 2.8 - Distância entre fachadas paralelas	43
Figura 2.9 - Distância entre fachadas não coincidentes	43
Figura 2.10 - Fachadas ortogonais.....	44
Figura 2.11 - Afastamento mínimo entre aberturas adjacentes localizadas na mesma parede	44
Figura 2.12 - Área máxima de compartimentação.....	45
Figura 3.1 - Simulação da distribuição de temperatura no plano horizontal a 12 m de altura por meio do FDS	48
Figura 3.2 - Curva de deformação da treliça espacial pirâmide regular.	48
Figura 3.3 - Comportamento da fumaça devido a um incêndio em loja localizada em um grande átrio	49
Figura 3.4 - Diagrama esquemático de radiação térmica.....	50
Figura 3.5 - Composição de fachada com abas horizontais e aberturas estreitas (a) e largas (b)	51
Figura 3.6 - Visualização de simulação no FDS. Vista frontal (a) e lateral (b).....	51
Figura 3.7 - Representação esquemática do caso-base, de acordo com o projeto arquitetônico.....	53
Figura 3.8 - Compartimentação seletiva: (a) vista superior; (b) vista frontal	53

Figura 3.9 - Representação do caso-base gerado pelo FDS	54
Figura 3.10 - Simulação FDS como o uso de compartimentação seletiva nos instantes (a) 0.; (b) 60.; (c) 120.; (d) 180 s	54
Figura 3.11 - Evolução da fumaça gerada pelo incêndio nos instantes $t = 0, 15, 900$ e 1800 s	55
Figura 3.12 - Distribuição da carga de incêndio no interior do pavimento inferior	56
Figura 3.13 - Temperaturas no plano Y-Z que corta o centro do compartimento fonte do incêndio nos instantes $t = 0, 30, 60, 1250, 1500$ e 3600 s	56
Figura 3.14 - Temperaturas no plano X-Y que corta o centro do 2º pavimento nos instantes $t = 0, 60, 1200$ e 3600 s	57
Figura 3.15 - Temperaturas no plano X-Y na cota $Z = 4,6$ e $t = 830$ s	58
Figura 4.1 - Croqui de ensaio real de incêndio no Memorial Tunnel	61
Figura 4.2 - Taxa de liberação de calor e taxa de fluxo de volume de ar medida no ensaio real de fogo e na simulação de incêndio por meio do FDS.....	61
Figura 4.3 – Variação da temperatura em função do tempo medida no “Loop 307” a 62 m norte do fogo	62
Figura 4.4 - Variação da temperatura em função do tempo medida no “Loop 306”, 29 m ao norte do fogo	62
Figura 4.5 - Variação da temperatura em função do tempo medida no “Loop 305”, 11 m ao norte do fogo	62
Figura 4.6 - Variação da temperatura em função do tempo medida no “Loop 304”, 12 m ao sul do fogo.....	63
Figura 4.7 - Variação da temperatura em função do tempo medida no “Loop 303”, 26 m ao sul do fogo.....	63
Figura 4.8 - Variação da temperatura em função do tempo medida no “Loop 302”, 66 m ao sul do fogo.....	63
Figura 4.9 - Variação da temperatura em função do tempo medida no “Loop 301”, 107 m ao sul do fogo.....	64
Figura 4.10 - Variação da temperatura em função do tempo medida no “Loop 202”, 237 m ao sul do fogo.....	64
Figura 4.11 – Geometria do compartimento com fonte de calor no canto	65
Figura 4.12 - Taxa de Liberação de calor no ensaio de incêndio e no FDS para as configurações “A” (a) e “B” (b).....	66

Figura 4.13 - Temperatura do gás medida a 0,05 m abaixo do centro do teto, caso “A”	66
Figura 4.14 - Temperatura do gás medida acima da fonte e 0,05 m abaixo do teto, caso “A”	66
Figura 4.15 - Temperatura do gás a 0,1 m do topo da porta para o caso “A”	67
Figura 4.16 - Temperatura do gás medida a 0,05 m abaixo no centro do teto, caso “B”	67
Figura 4.17 - Temperatura do gás medida acima da fonte e 0,05 m do teto, caso “B”	67
Figura 4.18 - Temperatura do gás a 0,1 m do topo da porta para o caso “B”	68
Figura 4.19 - Modelo físico teórico simplificado de deterioração da temperatura do fluxo de gás	69
Figura 4.20 – Modelo da análise numérico do experimento	69
Figura 4.21 - Temperatura medida ao longo do teto do túnel durante o ensaio com extração de fumaça	70
Figura 4.22 - Temperatura medida ao longo do teto do túnel durante o ensaio com efeito com efeito combinado da extração de fumaça e ventilação horizontal forçada	70
Figura 4.23 - Variação da temperatura em relação à distância da fonte de calor por meio do FDS e ensaio experimental na configuração de extração de fumaça.....	71
Figura 4.24 - Variação da temperatura em relação à distância da fonte de calor por meio do FDS e ensaio experimental na configuração de extração de fumaça ($V = 2,2$ m/s) e ventilação horizontal forçada (60 kW)	72
Figura 4.25 - Arquivo de texto executável pelo FDS	73
Figura 4.26 - Imagens geradas pelo Smokeview	74
Figura 5.1 Fluxograma da aplicação do método empregado no presente trabalho...	80
Figura 6.1 - Geometria do ambiente construído para as simulações computacionais de incêndio do caso I	85
Figura 6.2 – Desenho arquitetônico do ambiente hipotético do caso I. As cotas estão em centímetros.....	86
Figura 6.3 - Distribuição da carga de incêndio de 500 MJ/m^2 , 800 MJ/m^2 e 1000 MJ/m^2 na loja central	88
Figura 6.4 - Geometria e localização dos dispositivos de medição do caso hipotético I	89

Figura 6.5 - Posicionamento dos medidores de fluxo de calor	90
Figura 6.6 - Consumo da madeira durante a simulação.....	91
Figura 6.7 - Simulação FDS para incêndio em compartimento com carga de incêndio de 500 MJ/m ²	93
Figura 6.8 -Simulação FDS para incêndio em compartimento com carga de incêndio de 800 MJ/m ²	94
Figura 6.9 - Simulação FDS para incêndio em compartimento com carga de incêndio de 1000 MJ/m ²	95
Figura 6.10 - Distribuição das temperaturas no interior do compartimento incendiado	96
Figura 6.11 - Distribuição da temperatura superficial das paredes externas, 500MJ/m ² e t = 2466,0 s	97
Figura 6.12 - Distribuição da temperatura superficial das paredes externas, 800MJ/m ²	98
Figura 6.13 -Distribuição da temperatura superficial das paredes externas, 1000MJ/m ²	99
Figura 6.14 - Temperaturas medidas na loja incendiada com a carga de incêndio específica de 500MJ/m ²	101
Figura 6.15 -Temperatura e o fluxo de calor medidos na superfície externa da parede junto as aberturas adjacentes ao compartimento incendiado para carga de incêndio de 500MJ/m ²	102
Figura 6.16 - Temperatura no interior da loja incendiada para carga de incêndio de 800MJ/m ²	103
Figura 6.17 - Temperatura medida na superfície externa da parede junto as aberturas adjacentes da loja incendiada para carga de incêndio de 800MJ/m ²	104
Figura 6.18 - Temperatura no interior da loja incendiada para carga de incêndio de 1000MJ/m ²	105
Figura 6.19 - Temperatura medida na superfície externa da parede junto as aberturas adjacentes da loja incendiada para carga de incêndio de 1000MJ/m ²	106
Figura 6.20 - Geometria das edificações construídas para as simulações computacionais de incêndio do caso hipotético II	111
Figura 6.21 - Arquitetura para as simulações numéricas de incêndio do caso II. As medidas estão em centímetros e o desenho sem escala.....	112
Figura 6.22 - Leiaute das fachadas dos modelos do caso hipotético II	114

Figura 6.23 - Geometria do caso II, distribuição da carga de incêndio 700 MJ/m ² ..	116
Figura 6.24 - Dispositivos de medição no caso II, modelo com 49,3% de abertura de fachada	117
Figura 6.25 - Consumo da madeira durante a simulação numérica de incêndio no escritório do 2º pavimento	118
Figura 6.26 - Imagens de simulação computacional de incêndio em compartimento no 2º pavimento de edificação com 19,9% de aberturas na fachada	120
Figura 6.27 - Imagens de simulação computacional de incêndio em compartimento no 2º pavimento de edificação com 49,3% de aberturas na fachada	121
Figura 6.28 - Comportamento das temperaturas no interior do compartimento de incêndio	123
Figura 6.29 - Distribuição das temperaturas no interior do compartimento na direção longitudinal	124
Figura 6.30 - Distribuição da temperatura superficial nas fachadas dos modelos do caso II	125
Figura 6.31 - Comportamento das temperaturas na fachada das edificações confrontantes	127
Figura 6.32 - Temperatura medida na saída da janela de incêndio do 2º pavimento	128
Figura 6.33 - Fluxo de calor na fachada das edificações confrontantes	129
Figura 6.34 - Imagem das lojas objeto da simulação computacional	135
Figura 6.35 - Geometria das edificações objeto do estudo de caso	136
Figura 6.36 - Geometria do compartimento do estudo de caso após ajustes para o FDS	137
Figura 6.37 – Planta esquemática do interior das lojas. medidas em cm, sem escala	138
Figura 6.38 - Distribuição da carga de incêndio 800 MJ/ m ² no estudo de caso	140
Figura 6.39 - Geometria do estudo de caso, dispositivos de medição	141
Figura 6.40 - Consumo da madeira durante a simulação	142
Figura 6.41 - Imagens das chamas durante a simulação computacional de incêndio em compartimento da Loja 1 nos instantes indicados	144
Figura 6.42 - Imagens das chamas e fumaça durante a simulação computacional de incêndio em compartimento da Loja 1 nos instantes indicados	144
Figura 6.43 - Evolução das temperaturas medidas no incêndio	146

Figura 6.44 - Distribuição das temperaturas no interior do compartimento da Loja 1 no instante $t=3200,0s$	147
Figura 6.45 - Distribuição da temperatura superficial na fachada das lojas	148
Figura 6.46 - Comportamento das temperaturas e fluxo de calor radiativo junto à abertura da loja vizinha durante a simulação numérica	149
Figura 6.47 -Análise comparativa entre as temperaturas medidas junto a abertura da Loja 2 e propriedades termofísicas de sólidos combustíveis	151
Figura 6.48 - Análise comparativa entre o fluxo de calor medido junto a abertura da loja vizinha e consequências térmicas para sólidos combustíveis e o ser humano	152

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Calor de formação de gases	26
Tabela 2.2 - Calor de combustão para uma seleção de combustíveis a 25° C e 1 atm	28
Tabela 2.3 - Afastamentos mínimos entre aberturas situadas em fachadas paralelas ou não coincidentes	42
Tabela 4.1 - Resumo das condições de contorno da análise numérica do experimento	69
Tabela 6.1 - Caracterização da madeira utilizada nas simulações computacionais ..	82
Tabela 6.2 - Caracterização dos materiais de construção	83
Tabela 6.3 - Cargas de incêndio para ocupações das análises numéricas dos ambientes hipotéticos I e II.....	84
Tabela 6.4 - Determinação da quantidade de madeira para simulação de 500 MJ/m ² , 800 MJ/m ² e 1000 MJ/m ²	87
Tabela 6.5 - Propriedades térmicas de sólidos poliméricos quando aquecidos	107
Tabela 6.6 - Temperatura de autoignição de plásticos comuns	108
Tabela 6.7 - Máximos valores medidos de temperatura e fluxo de calor irradiado junto as aberturas adjacentes nas simulações hipotéticas do caso I	109
Tabela 6.8 - Condições para autoignição de combustíveis e consequências	110
Tabela 6.9 - Quadro de esquadrias do modelo hipotético caso II	113
Tabela 6.10 - Determinação da massa de madeira equivalente para distribuição da carga de incêndio específica de 700 MJ/m ² no escritório.....	116
Tabela 6.11 - Máximos valores medidos de temperatura e fluxo de calor irradiado	130
Tabela 6.12 - Temperatura e sua consequência para o ser humano	132
Tabela 6.13 - Nível de fluxo de calor e sua consequência para o ser humano	133
Tabela 6.14 - Correlação entre valores físicos medidos nas simulações com as consequências	134
Tabela 6.15 - Determinação da massa de madeira na Loja 1	139
Tabela 6.16 - Máximos valores medidos de temperatura e fluxo de calor irradiado junto a abertura da Loja 2	150

LISTA DE SÍMBOLOS

A = Área [m^2]

A_w = Área da abertura de ventilação [m^2]

A_f = Área superficial dos combustíveis [m^2]

H = Altura da abertura de ventilação [m]

ΔH = Variação de Entalpia [W]

ΔU = Variação da energia interna [W]

P = Pressão [N/m^2]

ΔV = Variação do volume [m^3]

\dot{Q}_c = Taxa de liberação de calor [W/s]

η_{O_2} = Fração molar de oxigênio no gás limpo

V = Fluxo volumétrico de ar

ρ_{O_2} = Densidade de O_2 nas condições normais de temperatura e pressão

ΔH_c = Calor de combustão

ΔH_f = Calor de formação

$\Delta H_{c,ox}$ = Calor de oxidação

r = Relação estequiométrica exata para total oxidação dos reagentes

\dot{m}'' = Taxa de queima [kg/s]

χ = Fator de combustão

\dot{m}_{ar} = Taxa do fluxo de ar

θ = Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

θ_f = Temperatura final ($^{\circ}\text{C}$)

θ_s = Temperatura da borda do sólido ($^{\circ}\text{C}$)

\dot{q}'' = Fluxo de calor por unidade de área aquecida [W/m^2]

k = Constante de condutividade térmica [$\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$]

h = Coeficiente de transferência de calor convectivo [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$]

σ = Constante de Boltzmann = $5,6 \times 10^{-8}$ [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$]

ε = Emissividade da superfície

\dot{m}'' = Taxa de queima

\dot{Q}_F = Fluxo de calor oriundo da chama [W]

\dot{Q}_L = Fluxo de calor sobre a superfície do combustível [W]

\dot{Q}_E = Fluxo de calor oriundo da fumaça [W]

L_c = latente de vaporização

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1. OBJETIVO	19
1.2. JUSTIFICATIVA	20
1.3. PROBLEMA DA PESQUISA	22
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1. DEFINIÇÃO DE FOGO E INCÊNDIO	24
2.1.1. Combustão e energia liberada	25
2.1.2. Temperatura das chamas	29
2.2. TRANFERÊNCIA DE CALOR EM COMPARTIMENTO DE INCÊNDIO	30
2.2.1. Medição	31
2.3. FASES DO INCÊNDIO EM COMPARTIMENTOS	32
2.3.1. Pré-Flashover, incêndio em compartimento	33
2.3.2. Pós-Flashover, incêndio em compartimento	36
2.4. CONCEITOS DE COMPARTIMENTAÇÃO	41
2.4.1. Regras para compartimentação horizontal em vigor no Brasil	41
3. ESTADO DA ARTE	47
3.1. PESQUISAS INTERNACIONAIS	47
3.2. PESQUISAS NACIONAIS	50
4. FIRE DYNAMICS SIMULATOR	59
4.1. TRABALHOS DE VALIDAÇÃO DO FIRE DYNAMIC SIMULATOR	60
4.2. CONFIGURAÇÃO DE ENTRADA E DADOS DE SAÍDA DO FDS	73
4.2.1. Mecânica dos Fluidos Computacional (CFD)	74
4.2.2. Condições de contorno	76
4.2.3. Definições da malha	76
5. METODOLOGIA	78
5.1. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS	79

5.2. SIMULAÇÕES NUMÉRICAS	80
6. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS	82
6.1 AMBIENTE HIPOTÉTICO PREVISTO EM NORMA	83
6.1.1. Simulação do caso I	84
6.1.2. Simulação do caso II	110
6.2 ESTUDO DE CASO	135
6.2.1 Geometria.....	136
6.2.2 Distribuição da carga de incêndio.....	139
6.2.3 Dispositivos de medição	141
6.2.4 Tempo de Simulação.....	142
6.2.5 Definição da malha para a simulação.....	143
6.2.6 Posicionamento do “Heater”	143
6.2.7 Resultados.....	143
7. CONCLUSÕES.....	154
8. REFERÊNCIAS	157
ANEXO A – ÁREAS DE RISCO E CARGA DE INCÊNDIO:	161
ANEXO B - ARQUIVO FDS: AMBIENTE HIPOTÉTICO CASO I.....	169
ANEXO C - ARQUIVO FDS: AMBIENTE HIPOTÉTICO CASO II.....	184
ANEXO D - ARQUIVO FDS: ESTUDO DE CASO.....	208

1. INTRODUÇÃO

Os incêndios ocasionam prejuízos há muito tempo na história e em um passado recente eram considerados força do acaso. No entanto, essa visão é equivocada e ultrapassada e muitos pesquisadores provaram que o incêndio é previsível e evitável. De acordo com o serviço de inteligência e estatística do Corpo de Bombeiros Militar do estado do Espírito Santo ocorreram 415 incêndios em edificações no ano de 2019, gerando perdas materiais e vidas humanas. Os incêndios em edificações são classificados como incêndios estruturais compartimentados, nos quais a fumaça fica represada e os efeitos do fogo são potencializados por meio do calor irradiado da fumaça para os materiais combustíveis dos compartimentos, cujo fenômeno é conhecido como *feedback* radiativo. O estudo e o entendimento dos incêndios em compartimentos possuem o potencial de propor ajustes em regras de segurança contra incêndio em vigor, a fim de torná-las mais eficazes na interrupção da cadeia de propagação do fogo, minimizando os danos e as perdas, auxiliando na extinção dos focos.

A pesquisa relacionada com segurança contra incêndio teve seu crescimento observado a partir da década de 1970 por meio de Gerard Blachere diretor do CSTB - Centre Scientifique et Technique du Batiment, na França (SEITO, 2008). Este centro teve seu desenvolvimento ligado a reconstrução da França após a segunda guerra mundial. Mas o CSTB não é o único centro de pesquisa e ensaios de incêndio no mundo e soma-se a ele as instalações do BRE - Building Research Establishment / FRS - fire Research Station – no Reino Unido; o NIST - National Institute of Standards and Technology – BFRL - Building Fire Research Laboratory nos Estados Unidos e; o BRI - Building Research Institute – Department of Fire Engineering.

No entanto, simulações de ensaios de incêndios reais são dispendiosos, caros e perigosos. Por esse motivo, o NIST desenvolveu uma ferramenta computacional para simulação de incêndio utilizando o método dos volumes finitos na dinâmica computacional dos fluidos (CFD), denominado Fire Dynamics Simulator (FDS). Essa ferramenta vem sendo empregada largamente em pesquisas ao redor do mundo por se tratar de um software livre e por apresentar bons resultados quando comparado com os dados gerados em experimentos de incêndio.

Malhotra (1993), convidado pelo Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP), redigiu o “General building regulation for fire safety”. Esse regulamento propôs que o sistema de proteção contra incêndio compreendesse nove premissas, que se aplicam em graus variados a diferentes edifícios ou diferentes partes de um edifício: prevenção do início do incêndio; prevenção do rápido crescimento do incêndio; disponibilidade de sistema de detecção e alarme de incêndio; adequação dos meios de escape dos ocupantes; projeto da estrutura para resistir aos efeitos do incêndio; compartimentação; separação das edificações para prevenir a propagação do incêndio; instalações para controle de incêndio na edificação e; sistema de brigadas de incêndio para salvamento e controle do incêndio. Esses princípios e medidas se tornaram o alicerce principal para construção dos códigos de segurança contra incêndio em vigor hoje no Brasil.

1.1.OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é analisar numericamente o comportamento da propagação do incêndio em ambientes compartimentados horizontalmente.

Os objetivos específicos são:

Realizar simulação numérica computacional utilizando o programa de computador FDS (Fire Dynamic Simulator) visando demonstrar seu potencial na análise de ambientes em condição de incêndio.

Comparar os resultados obtidos numericamente com parâmetros normativos de compartimentação horizontal no Brasil.

Realizar estudo de caso em polo comercial da Grande Vitória no Estado do Espírito Santo.

1.2. JUSTIFICATIVA

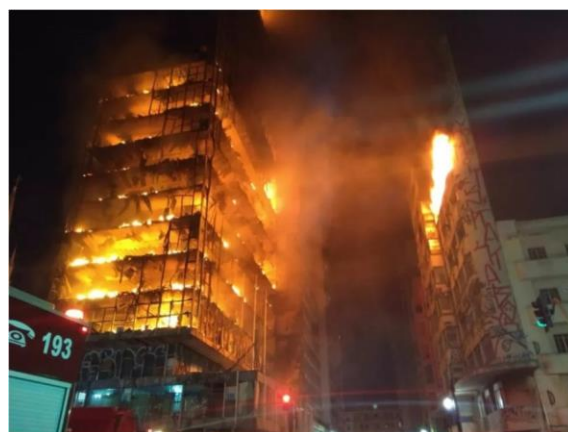
O poder público municipal é responsável e competente pela definição das regras para ocupação do solo e a edição do código de edificações, o que, na maioria dos casos, não contemplam as prescrições normativas de compartimentação horizontal. Como as edificações encontram-se em terrenos vizinhos, muitas vezes, os afastamentos laterais entre aberturas adjacentes no mesmo plano são muito pequenos, tornando-se um risco para propagação.

A compartimentação de áreas é uma medida de segurança contra incêndio classificada como proteção passiva, constituída de elementos de construção resistentes ao fogo cujo objetivo é evitar ou minimizar a propagação de fogo, calor e gases, interna ou externamente à edificação, no mesmo pavimento ou entre pavimentos consecutivos (ABNT NBR 13860:1997). A compartimentação horizontal de incêndio é um conceito de segurança contra incêndio que tem por objetivo implementar medidas que impeçam a propagação de incêndio, de uma unidade autônoma para unidades vizinhas num plano horizontal. Esse cenário é comum em polos comerciais em todo o Brasil e, no caso do Espírito Santo destacam-se o polo comercial da Glória, em Vila Velha, a avenida central de Laranjeiras, em Serra, e a avenida Exedito Garcia, em Cariacica. A análise deste tipo de ocupação é importante devido a elevada carga de incêndio encontrada no interior das lojas, ao grande número de pessoas que circulam diariamente nesses locais e o afastamento lateral entre aberturas de lojas vizinhas ser inferior ao previsto em normas de compartimentação horizontal dos corpos de bombeiros.

No dia 1º de maio de 2018 ocorreu um grande incêndio no edifício Wilton Paes no Largo de Paysandu em São Paulo provocando o colapso da estrutura e consequente desabamento da edificação. O edifício Wilton Paes encontrava-se afastado a uma distância superior a 15 metros do edifício confrontante na rua Antônio de Godoy, no entanto, o incêndio se propagou para a edificação confrontante gerando um foco secundário. A Figura 1.1 “b” mostra as imagens obtidas no dia do incêndio no Edifício Wilton Paes. Embora havia um relativo afastamento entre as edificações confrontantes, o incêndio foi capaz de se propagar para a edificação vizinha por meio da irradiação do calor emanada do foco principal, gerando um foco secundário. As normas de segurança contra incêndio em vigor no Brasil estabelecem o afastamento

mínimo em um mesmo plano para edificações vizinhas distintas, entretanto, este incêndio, em particular, acende uma luz sobre a necessidade de verificação das regras de compartimentação horizontal utilizadas para o licenciamento destas edificações.

Figura 1.1 - Incêndio do edifício Wilton Paes no Largo de Paysandu, São Paulo



a) Imagem das edificações antes do incêndio. Foto: reprodução/ google maps

b) Imagem de edifício Wilton Paes na data do incêndio. Foto: divulgação/ Corpo de Bombeiros

Fonte: INCENDIO/ G1 SP (2019)

Além disso, as regras de compartimentação horizontal são prescritivas e muitas vezes não se adequam as infinitas possibilidades arquitetônicas de distribuição dos ambientes em uma edificação. Convém realizar também uma confirmação da eficiência das regras de compartimentação em vigor por meio da simulação dos ambientes hipotéticos previstos em legislação.

De acordo com Cunha (2016), comparado aos ensaios experimentais, a simulação computacional apresenta maior praticidade na obtenção dos resultados e flexibilidade para a realização de estudos paramétricos. Além disso, os custos de uma simulação numérica computacional são inferiores aos ensaios de laboratório. Entretanto, deve-se ter cuidado na validação do modelo numérico para não apresentar incertezas que podem proporcionar resultados que não condizem com a realidade. As incertezas podem ser decorrentes da escolha equivocada do modelo matemático que representa o fenômeno físico, da simplificação acentuada da geometria da envoltória ou da incorreta caracterização das condições de contorno.

A solução de problemas envolvendo a dinâmica dos fluidos (CFD) requer do usuário não só a habilidade de configurar a ferramenta, mas também de compreender os

fenômenos físicos envolvidos e bom entendimento das soluções numéricas. O ajuste da simulação envolve decisões que devem ser tomadas em função do nível de complexidade e dos resultados esperados para cada estudo.

1.3. PROBLEMA DA PESQUISA

Definir o problema da pesquisa pode ser viável para melhor entendimento e desenvolvimento da mesma.

Sendo assim, as perguntas que precisam ser respondidas são:

1. “As regras de compartimentação horizontal em vigor no Brasil são eficientes para impedir a propagação do incêndio?”
2. “Os afastamentos entre aberturas adjacentes de edificações vizinhas em polos comerciais são um risco para segurança contra incêndio e podem facilitar a propagação?”
3. “A análise numérica computacional pode ser utilizada como ferramenta para a análise de compartimentação horizontal do incêndio?”

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação é organizada em sete capítulos. No capítulo 1 é introduzido o trabalho proposto, citando os objetivos e as justificativas da pesquisa sobre o comportamento do incêndio em ambientes compartimentados horizontalmente bem como a estrutura de apresentação da dissertação.

No capítulo 2 são abordados os conceitos gerais relacionados ao incêndio, como os elementos necessários para sua ocorrência, os tipos de incêndio, as curvas temperatura-tempo, os mecanismos de transferência de calor, as fases do incêndio, condições para ocorrência de incêndios generalizados, ambiente pré-flashover e pós-flashover e as normas de segurança contra incêndio.

No capítulo 3 são expostos os estudos numéricos e experimentais realizados, tanto no Brasil como no exterior, sobre segurança contra incêndio e comportamento do fogo em incêndios estruturais.

No capítulo 4 são descritas as características do programa computacional utilizado para simulação computacional de incêndio, principais trabalhos de validação da ferramenta e suas limitações.

No capítulo 5 é descrita a metodologia utilizada na elaboração dos modelos numéricos, os elementos utilizados, as características e as dimensões do modelo.

No capítulo 6 são realizadas as simulações numéricas dos casos hipotéticos de norma de compartimentação horizontal e o estudo de caso em polo comercial da Grande Vitória bem como a análise e discussão dos resultados.

No capítulo 7 são dadas as conclusões obtidas e as comparações dos resultados obtidos numericamente.

Por fim são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas ao longo da pesquisa, tais como dissertações, teses, artigos, livros, normas e pesquisas via internet.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O comportamento do incêndio é peculiar e depende de uma grande quantidade de variáveis tais como: pressão atmosférica, umidade do ar, concentração dos reagentes, disposição dos materiais combustíveis, forma das aberturas, área das aberturas, pé direito dos compartimentos, área planificada dos compartimentos, relação superfície/massa dos combustíveis, dentre outras. Convém, portanto, realizar uma revisão sobre os principais conceitos físico-químicos relacionados com a reação de combustão a fim de nivelarmos o conhecimento científico sobre o fogo, incêndio, temperatura do incêndio, propagação do incêndio, incêndio compartimentado, fases do incêndio em compartimentado e regras de segurança contra incêndio para compartimentação horizontal.

2.1. DEFINIÇÃO DE FOGO E INCÊNDIO

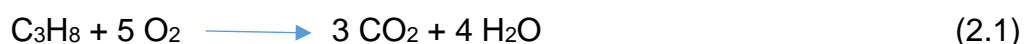
O fogo é uma reação química de oxidação com variação negativa de entalpia, ou seja, uma reação química exotérmica. De acordo com Drysdale (2006), o fogo pode tomar diferentes formas, mas em todas elas, será resultado de uma reação química entre espécies de combustíveis e o oxigênio do ar. No entanto, embora o fogo forneça muitos benefícios a humanidade, quando fora de controle pode causar uma série de danos e prejuízos materiais e humanos. Por esse motivo, nessa situação recebe o nome de incêndio e o seu imediato controle é imprescindível para mitigar os seus efeitos destrutivos.

Drysdale (2006) afirma que embora o fogo seja fruto de uma reação química, os modos de queima dependem mais do estado físico, da distribuição do combustível e da geometria do ambiente, do que simplesmente da natureza química. Por exemplo: uma tora de madeira é difícil de queimar, no entanto, um amontoado de gravetos da mesma madeira com a mesma massa queima facilmente; uma quantidade de carvão queima lentamente, mas se triturado e disperso numa nuvem densa em um ambiente pode provocar uma grande explosão quando na presença de fonte ígnea.

Esses exemplos são extremos e mostram como é complexo o estudo do incêndio, por isso, requer do pesquisador o domínio e o conhecimento, não só da natureza química dos elementos e suas interações, mas também de várias áreas da ciência tais como a termodinâmica e a dinâmica dos fluidos.

2.1.1. Combustão e energia liberada

Toda reação de combustão acontece com a liberação energia, ou seja, a entalpia dos reagentes é superior a entalpia do produto. Essa quantidade de energia liberada é denominada calor de combustão, ΔH_c , que representa a energia liberada quando uma quantidade de combustível (na temperatura ambiente, 25° C, e pressão de 1 ATM) é consumida durante a combustão ou completamente oxidada. Por exemplo, combustão do propano obedece a Equação 2.1.



A oxidação do propano possui dois valores distintos de calor de combustão, que dependem exclusivamente da presença da água, produto da reação química, na forma líquida, Equação 2.2, ou gasosa, Equação 2.3 (Drysdale, 2006). A diferença entre os dois valores está relacionada com o calor latente de vaporização da água.

$$\Delta H_c (\text{C}_3\text{H}_8) = -2220 \text{ kJ/mol (água na forma líquida)} \quad (2.2)$$

$$\Delta H_c (\text{C}_3\text{H}_8) = -2044 \text{ kJ/mol (água na forma gasosa)} \quad (2.3)$$

Como nos incêndios a água gerada na combustão encontra-se na forma gasosa, é mais apropriado utilizar a Equação 2.3. Para determinação do valor do calor de combustão gerado durante a oxidação em um incêndio, deve-se considerar a variação da energia interna (ΔU) e o trabalho gerado pela variação do volume ($P\Delta V$), conforme Equação 2.4.

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V \quad (2.4)$$

Onde:

ΔH é a variação da Entalpia;

P é a pressão.

Portanto, parte da energia de um incêndio é utilizada para variação do volume dos gases ou elevação da pressão (lei dos gases ideais) e, parte é percebida na forma de luz e calor.

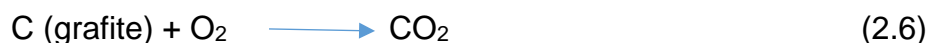
O valor do calor de combustão da Equação 2.1, ΔH_c , pode ser determinado por meio da entalpia de formação, ΔH_f , dos elementos presentes na Equação 2.5, onde por definição o $\Delta H_f (O_2) = 0$.

$$\Delta H_c (C_3H_8) = 3\Delta H_f (CO_2) + 4\Delta H_f (H_2O) - \Delta H_f (C_3H_8) - 5\Delta H_f (O_2) \quad (2.5)$$

Os valores do calor de formação de gases comuns constam na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Calor de formação de gases		
Composto	Fórmula	ΔH^{298}_f (KJ/mol)
Água (vapor)	H ₂ O	-241,826
Monóxido de Carbono	CO	-110,523
Dióxido de Carbono	CO ₂	-393,513
Metano	CH ₄	-74,75
Propano	C ₃ H ₈	-103,6
Eteno	C ₂ H ₄	52,6
Propeno	C ₃ H ₆	20,7
Etino	C ₂ H ₂	226,9
Fonte: Drysdale (2006)		

De acordo com Drysdale (2006), o calor de formação é definido como a variação da entalpia durante o processo de formação do composto no seu estado padrão que corresponde a 1 atm e temperatura de 298 K. Para o dióxido de carbono, por exemplo, o calor de formação é medido na reação química mostrada na Equação 2.6.



Entretanto, para a determinação do calor de combustão é necessário garantir que toda quantidade dos reagentes foi consumida pela reação de oxidação, o que, na maioria dos casos, não é verdade. Os incêndios são limitados pela oferta de combustível, ou pela oferta de comburente (ventilação), e não há garantia de que os reagentes estejam na concentração do equilíbrio estequiométrico. Então, para estimar a taxa de liberação de calor, Drysdale (2006) utiliza o método da quantidade de oxigênio consumida pelo incêndio. Por exemplo, ao utilizar a queima do propano como referência (Equação 2.1), o calor de combustão gerado pela oxidação de 1 mol de propano é de $\Delta H_c = -2044$ kJ/mol. Ao mesmo tempo, essa reação consome 5 mols de O₂ o que equivale a

$\Delta H_{c,ox} = -408,8$ kJ/mol. Como o peso molecular do O_2 é 32, a combustão do propano produz $\Delta H_{c,ox} = -12,77$ kJ/g de O_2 consumido. Hugget (1980) concluiu que líquidos orgânicos típicos e gases tem $\Delta H_{c,ox} = -12,72 \pm 3\%$ kJ/g de oxigênio (exceto eteno e etino) enquanto que polímeros tem $\Delta H_{c,ox} = -13,02 \pm 4\%$ kJ/g de oxigênio (exceto polioximetileno). Consequentemente, se for possível medir a quantidade de oxigênio, a taxa de liberação de calor será facilmente estimada. Se o processo de combustão estiver completo, a taxa de liberação de calor será estimada por meio da Equação 2.7.

$$\dot{Q}_c = (0,21 - \eta_{O_2}) \cdot V \cdot 10^3 \cdot \rho_{O_2} \cdot \Delta H_{c,ox} \quad (2.7)$$

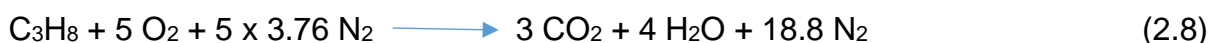
Onde:

V é o fluxo volumétrico de ar (m³/s);

ρ_{O_2} é a densidade de oxigênio nas condições normais de temperatura e pressão, (kg/m³);

η_{O_2} é a fração molar de oxigênio no gás limpo, ou seja, volume de gás sem vapor d'água ou gases ácidos.

O calor de combustão também pode ser expressado em função do ar “consumido” pela combustão. Sendo assim a Equação 2.1 precisa ser modificada para Equação 2.8, que incluiu a presença de nitrogênio.



Considerando que aproximadamente 21% do ar é composto por O_2 e 79% por N_2 , podemos afirmar que a relação molar entre o N_2 e o O_2 do ar é de aproximadamente 3,76 (WEAST, 1974). Sabendo que 2044 kJ é produzido na presença de 23,8 mols de ar, então é produzido $\Delta H_{c,ar} = 85,88$ kJ/mol ou 2,97 kJ/g de ar, uma vez que o peso molecular do ar é 28,95. A tabela 2.2 mostra os valores médios de calor de combustão em função do consumo de ar para alguns materiais combustíveis.

Utilizando a Tabela 2.2 e, para incêndios em compartimentos controlados pela ventilação, cujo fluxo de ar para o interior do compartimento é conhecido, é possível estimar o calor de combustão gerado desde que todo o oxigênio do ambiente tenha sido consumido pela oxidação do combustível. De acordo com Drysdale (2006), a relação entre a massa de combustível e a massa de ar consumida pelo incêndio obedece a Equação 2.9.



Onde r é a exata quantidade estequiométrica de ar requerida para total queima do combustível. Além disso, uma vez conhecida a quantidade estequiométrica de ar necessária para queimar na totalidade um determinado combustível, por meio da Tabela 2.2, é possível estimar o calor de combustão do combustível multiplicando-se o calor de combustão do ar pelo coeficiente estequiométrico.

Tabela 2.2 - Calor de combustão para uma seleção de combustíveis a 25° C e 1 atm

	Fórmula	$-\Delta H_c$ (kJ/mol)	$-\Delta H_c$ (kJ/g)	$-\Delta H_{c,ar}$ (kJ/g(ar))	$-\Delta H_{c,ox}$ (kJ/g(O ₂))
Monóxido de Carbono	CO	283	10,10	4,10	17,69
Metano	CH ₄	800	50,00	2,91	12,54
Etano	C ₂ H ₆	1423	47,45	2,96	11,21
Eteno	C ₂ H ₄	1411	50,35	3,42	14,74
Etino	C ₂ H ₂	1253	48,20	3,65	15,73
Propano	C ₃ H ₈	2044	46,45	2,97	12,80
η-Butano	η-C ₄ H ₁₀	2650	45,69	2,97	12,80
η-Pentano	η-C ₅ H ₁₂	3259	45,27	2,97	12,80
η-Octano	η-C ₈ H ₁₈	5104	44,77	2,97	12,80
c-Hexano	c-C ₆ H ₁₂	3680	43,81	2,97	12,80
Benzeno	C ₆ H ₆	3120	40,00	3,03	13,06
Metanol	CH ₃ OH	635	19,83	3,07	13,22
Etanol	C ₂ H ₅ OH	1232	26,78	2,99	12,88
Acetona	(CH ₃) ₂ CO	1786	30,79	3,25	14,00
D-Glucose	C ₆ H ₁₂ O ₆	2772	15,40	3,08	13,27
Celulose	-	-	16,09	3,15	13,59
Polietileno	-	-	43,28	2,93	12,65
Polipropileno	-	-	43,31	2,94	12,66
Poliestireno	-	-	39,85	3,01	12,97
Polivinilcloride	-	-	16,43	2,98	12,84
Polimetilmetacrilato	-	-	24,89	3,01	12,98
Poliacrilonitrila	-	-	30,80	3,16	13,61
Polioximetileno	-	-	15,46	3,36	14,50
Polietileno tereftalato	-	-	22,00	3,06	13,21
Policarbonato	-	-	29,72	3,04	13,12
Nylon 6,6	-	-	29,58	2,94	12,67

Fonte: Drysdale (2006)

2.1.2. Temperatura das chamas

Dado o calor de combustão, a taxa de liberação de calor pode ser estimada pela Equação 2.10, desde que a taxa de queima (\dot{m}''), a área superficial dos combustíveis (A_f) e o fator de combustão ($\chi < 1,0$) sejam conhecidos.

$$\dot{Q}_c = \chi \cdot \dot{m}'' \cdot A_f \cdot \Delta H_c \quad [\text{kW}] \quad (2.10)$$

Isso raramente acontece em incêndio em compartimentos pois são variáveis de difícil controle e mensuração. Drysdale (2006) propõe, então, que o cálculo da taxa de liberação de calor seja obtido por meio da Equação 2.11 que relaciona o calor de combustão em função da taxa de fluxo de ar para o interior do compartimento.

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_{ar} \cdot \Delta H_{c,ar} \quad (2.11)$$

Onde \dot{m}_{ar} é a taxa de fluxo de ar e \dot{Q}_c a taxa de liberação de calor.

Se todo o calor gerado pelo incêndio fosse utilizado para aquecer as chamas, a temperatura seria resultado direto entre a quantidade de calor gerado e a capacidade térmica do fluido que envolve a chama. Isso só acontece em transformações adiabáticas o que não é verdade num incêndio pois, boa parte do calor gerado é perdido nas fronteiras do compartimento. No entanto, na fase inicial do incêndio, o aquecimento é aproximadamente adiabático e o calor de combustão gerado é utilizado para aquecer a chama. Por exemplo, utilizando a Equação 2.8, o calor de combustão liberado na oxidação de um mol propano é de 2044,3 kJ. Os produtos gerados pela combustão de um mol de propano são 3 mols de CO_2 , 4 mols de H_2O e 18,8 mols de N_2 . A capacidade térmica dessa mistura é 942,5 J/K por mol de propano consumido. A temperatura final θ_f é determinada pela Equação 2.12.

$$\theta_f = 25^\circ\text{C} + (2044300/942,5) = 2194^\circ\text{C}. \quad (2.12)$$

Em relação a Equação 2.12 Drysdale (2006) afirmar que:

- A capacidade térmica varia em função da temperatura e o valor utilizado é uma média para a temperatura de 1000 K;
- O sistema não é verdadeiramente adiabático e parte do calor é perdido por radiação da zona da chama para a periferia e;

- Em altas temperaturas os produtos da combustão são dissociados em um número de átomos, moléculas e radicais. Como cada dissociação é endotérmica ela absorve parte do calor gerado pela combustão.

De acordo com Drysdale (2006), o efeito da dissociação é significativo para temperaturas superiores a 1700 °C. Sendo assim, a temperatura real da chama será inferior a 2194 °C mas nunca superior. Na verdade, conhecendo o calor de formação do CO₂ e H₂O podemos estimar a temperatura das chamas subtraindo-se o calor de formação dos elementos do calor de combustão da queima do metano. De acordo com Friedman (2016) esse cálculo resultará na temperatura de 1995 °C para a queima adiabática do propano no ar.

Além da perda de calor para a vizinhança pode-se acrescentar o efeito do aumento do volume e pressão do fluido. Na verdade, as grandezas estão interligadas pela “Lei dos Gases” e o aumento do volume vai interferir diretamente na temperatura da chama reduzindo o valor da temperatura do incêndio para valores menores do que o indicado pela equação 2.12.

2.2. TRANFERÊNCIA DE CALOR EM COMPARTIMENTO DE INCÊNDIO

Existem três mecanismos básicos de transferência de calor que são denominados condução, convecção e radiação. É provável que em todos os incêndios os três contribuam simultaneamente para a propagação do fogo e, sendo que um possa contribuir mais do que os outros, de acordo com as características do incêndio. O domínio do conhecimento desses fenômenos é primordial para o entendimento da propagação do incêndio em qualquer ambiente.

A condução é o transporte da energia molecular e pode ser expressa pela Lei de Fourier (Equação 2.13), desenvolvida no início do século XIX.

$$\dot{q}'' = -k \, dT/dx \quad (2.13)$$

Onde,

$\dot{q}'' = (dq_x/dt)/A$, e “A” é a área perpendicular ao fluxo de calor na seção;
dT/dx é a variação da temperatura no intervalo dx;

k é a constante de condutividade térmica.

A convecção é o transporte de calor por meio do movimento de um fluido aquecido de uma região próxima a fonte de calor para a borda de outros sólidos ainda não aquecidos. De acordo com a formulação empírica produzida por Newton, a taxa de transferência de calor devido ao modo de convecção pode ser estimada por meio da Equação 2.14.

$$\dot{q}'' = -h (\theta - \theta_s) \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.14)$$

Onde,

h é o coeficiente de transferência de calor convectivo.

θ é a temperatura do fluido.

θ_s é a temperatura da borda do sólido.

A radiação térmica é a transferência de calor por meio de ondas eletromagnéticas dentro de estreita faixa do espectro eletromagnético (Drysdale, 2006). De acordo como a equação de Stefan-Boltzman (Equação 2.15), o total de energia emitida por um corpo é proporcional à temperatura do corpo elevada a quarta potência, sendo a temperatura medida em Kelvin.

$$E = \varepsilon \sigma \theta^4 \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.15)$$

Onde,

σ é a constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$).

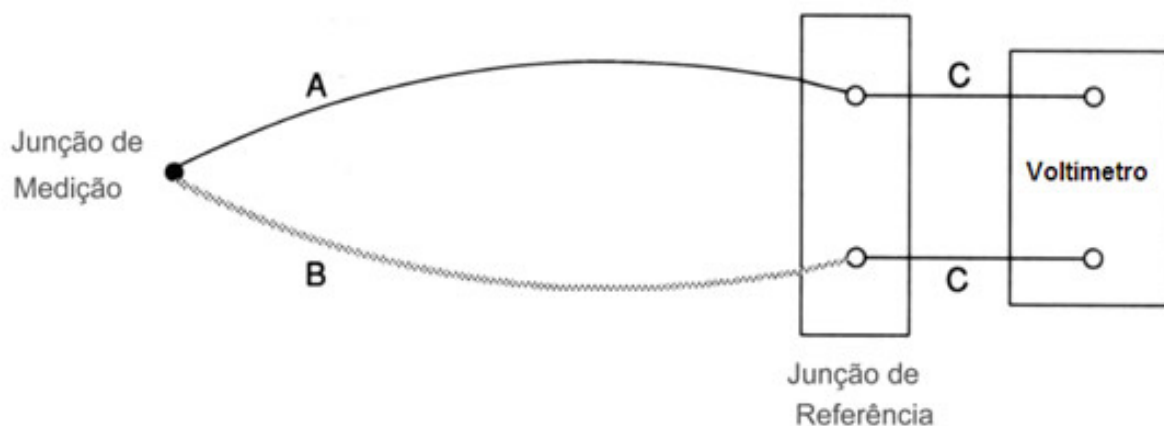
ε é a emissividade da superfície.

2.2.1. Medição

A medição da temperatura e do fluxo de calor são importantes aspectos da transferência de calor. A precisão dessa medição é importante para assegurar a interpretação correta dos dados e sua confiabilidade em ensaios e suas correspondentes correlações. O termopar é o equipamento mais utilizado para medir a temperatura em um experimento (Figura 2.1). Ele é constituído de um elemento bimetálico soldado em uma de suas pontas com a outra extremidade livre. Quando a extremidade soldada é exposta a uma variação de temperatura ocorre também uma

variação de tensão entre as extremidades livres dos materiais conhecido como efeito “Seebeck”, o que é facilmente medido. Algumas ligas metálicas possuem medidas de tensão padronizadas o que permite interpretar e traduzir a tensão medida para temperatura.

Figura 2.1 - Imagem ilustrativa sobre o funcionamento do Termopar

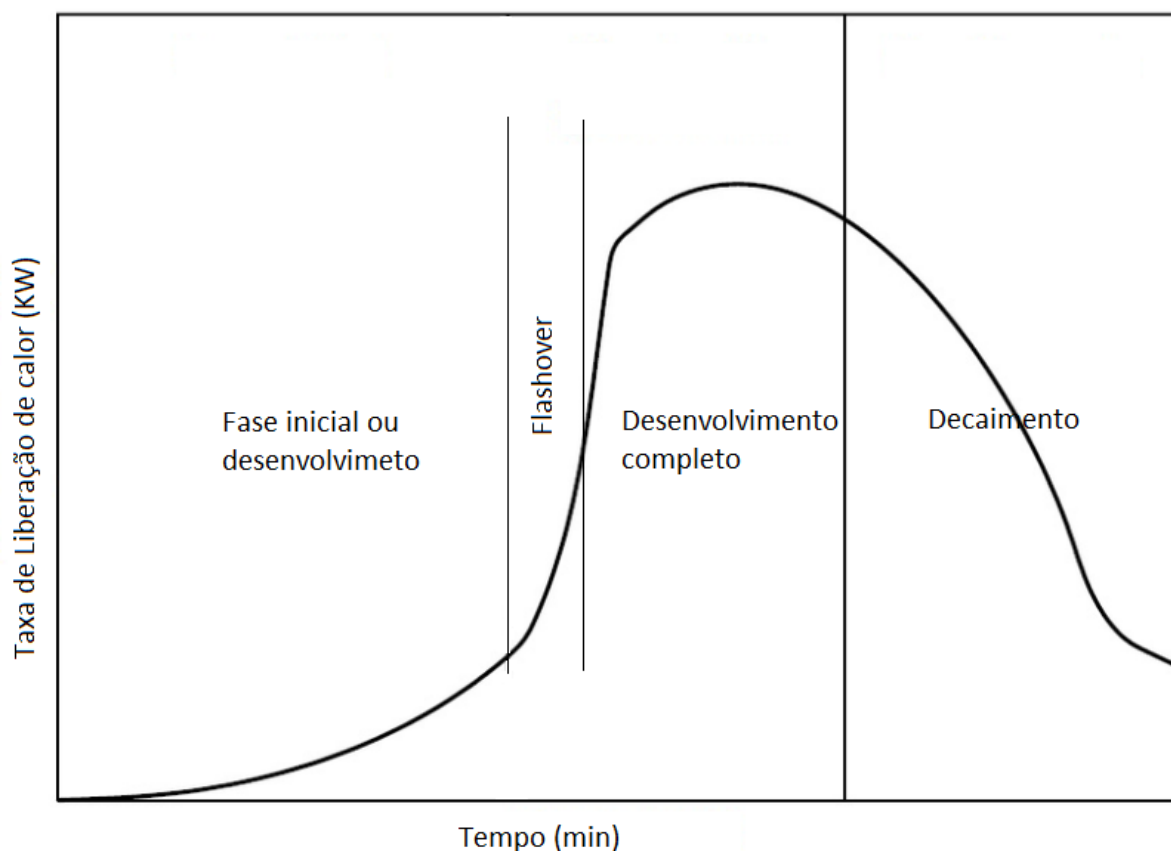


Fonte: Disponível em: <<http://www.ecil.com.br/temperatura-industrial/termopares/>>. Acesso em: 24 jan. 2019.

2.3. FASES DO INCÊNDIO EM COMPARTIMENTOS

O termo “incêndio em compartimentos” é usado para descrever incêndios em espaços confinados. Após a ignição, na fase incipiente, o fogo cresce livremente e a termólise dos combustíveis, bem como a taxa de liberação de calor, são afetados apenas pela queima do combustível sem qualquer influência dos limites físico do compartimento (WALTON e THOMAS, 1995). Caso haja ventilação suficiente para alimentar a reação de combustão, o incêndio irá evoluir como função da taxa de liberação de calor e o tempo, conforme mostra a Figura 2.2, sendo limitado pela quantidade de combustível disponível no compartimento. A rigor, os incêndios em compartimentos podem ser divididos em três estágios: fase inicial ou em desenvolvimento (ambiente *pré-flashover*); desenvolvimento completo ou ambiente *pós-flashover* e; fase de decaimento e extinção. O *flashover* é um marco importante para a evolução do fogo e sua ocorrência vai definir o grau de severidade e o comportamento do incêndio em ambiente compartimentado.

Figura 2.2 - Desenvolvimento de incêndio real limitado por combustível no interior de compartimentos



Fonte: Drysdale (2006). Modificado pelo autor.

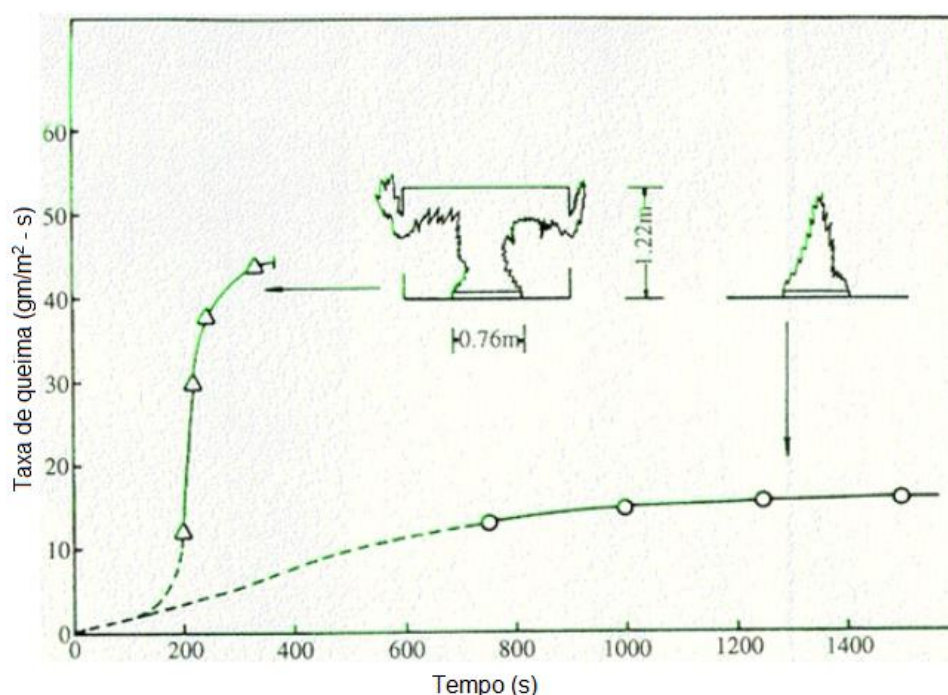
2.3.1. *Pré-Flashover*, incêndio em compartimento

De acordo com Drysdale (2006), após iniciado o incêndio, ele se comportará de três maneiras: o fogo assim que consumir sua fonte inicial de combustível poderá extinguir-se, especialmente se a fonte encontrar-se isolada de outra forma de combustível; caso não haja adequada ventilação o fogo pode se auto extinguir por falta de reagente (oxigênio) ou permanecer incubado a baixa temperatura esperando oferta de ventilação e; caso haja suficiente ventilação e combustível, o fogo poderá progredir para queima total do compartimento onde todos os combustíveis do ambiente estão expostos ao incêndio.

A fase inicial delimitada na Figura 2.2 compreende o período denominado ambiente *pré-flashover*. O termo "*flashover*" foi introduzido pelo cientista britânico P.H. Thomas, nos anos 1960, e foi usado para descrever a teoria do crescimento de um fogo até o

ponto onde se torna um incêndio totalmente desenvolvido. Por definição, flashover é o envolvimento repentino de uma sala ou área em chamas do chão ao teto causada “feedback” radiativo. “Feedback” radiativo é a radiação do calor emanado da fumaça, parede e teto para os materiais combustíveis do compartimento até aquecê-los acima da temperatura de ignição. Quando os gases liberados pelos materiais combustíveis sofrem ignição repentinamente e simultaneamente este efeito é denominado flashover.

Figura 2.3 - Efeito do enclausuramento na taxa de queima do Polimetilmetacrilato (reservatório retangular 0,76m x 0,76m)



Fonte: Friedman apud Drysdale (2006)

A compreensão das condições ideais para que o incêndio evolua da fase de desenvolvimento para desenvolvimento completo (ambiente pré-flashover) requer o perfeito entendimento do fenômeno. O flashover é geralmente associado a espaços confinados (incêndios de compartimento), no entanto, também é observado em ambientes abertos sob coberturas, tais como os encontrados em arquibancadas de estádio de futebol. Na verdade, a queima generalizada dos materiais combustíveis em um compartimento requer o represamento da fumaça que em média retém 70% da energia liberada pelo foco do incêndio (DRYSDALE, 2006). A fumaça represada torna-se uma fonte considerável de calor que passa a irradiar energia para o ambiente elevando a temperatura dos materiais acima do ponto de fulgor (termólise dos

combustíveis sólidos e “feedback” radiativo) o que inunda o ambiente de gases combustíveis. Esse ambiente é ideal para a ocorrência do flashover, pois o compartimento inundado de vapores combustíveis dentro da faixa de inflamabilidade, devido as altas temperaturas da fumaça, entra em combustão instantânea, formando um incêndio de caráter volumétrico. Por esse motivo, a taxa de liberação de calor sofre um incremento relevante, representado pela excessiva inclinação positiva da curva de incêndio da Figura 2.2, no trecho denominado “Flashover”. A Figura 2.3 mostra a representação gráfica comparativa entre um incêndio em ambiente aberto, sem o represamento da fumaça e, um incêndio em um ambiente compartimentado.

A taxa de queima de um líquido combustível em um ambiente aberto depende diretamente da diferença entre o calor gerado pela queima superficial e o calor absorvido pelo volume de combustível, isso dividido pelo Latente de vaporização do combustível (Equação 2.16). Já em um ambiente enclausurado surge outra fonte de calor importante representada pela fumaça oriunda da queima incompleta do combustível (Equação 2.17). Essa fumaça, detentora de 70% da energia gerada pela fonte ígnea, passa a irradiar também calor para o combustível o que acelera o consumo e eleva a taxa de queima (*feedback* radiativo).

$$\dot{m}'' = (\dot{Q}_F - \dot{Q}_L) / L_c \quad (2.16)$$

$$\dot{m}'' = (\dot{Q}_F + \dot{Q}_E - \dot{Q}_L) / L_c \quad (2.17)$$

Onde:

\dot{m}'' é a taxa de queima;

\dot{Q}_F é a fluxo de calor oriundo da chama;

\dot{Q}_L é o fluxo de calor sobre a superfície do combustível;

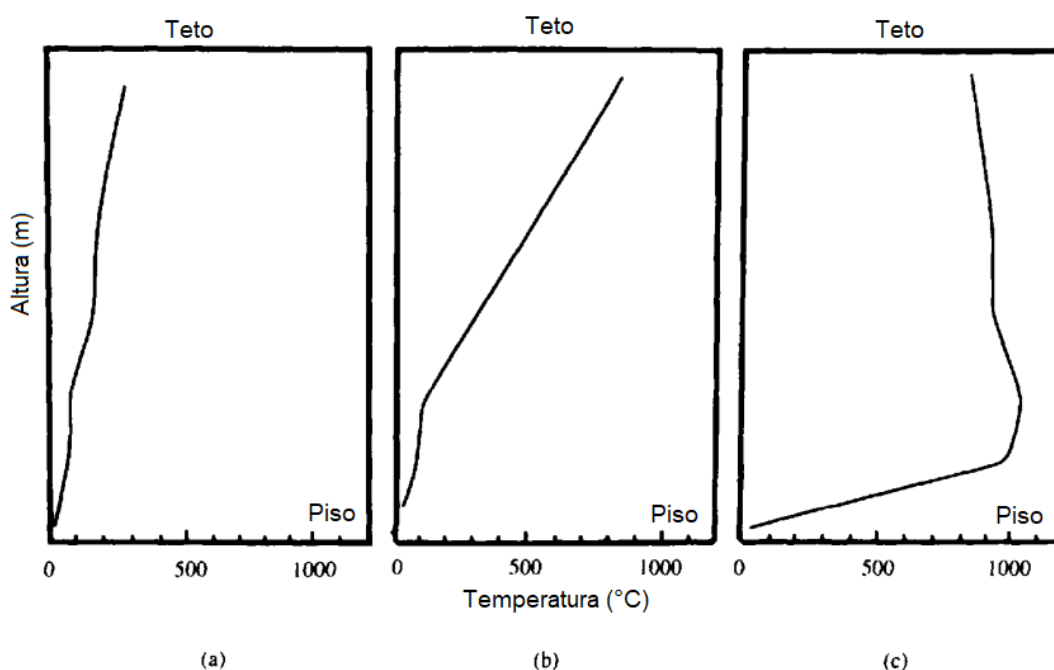
\dot{Q}_E é o fluxo de calor oriundo da fumaça.

O efeito do “*feedback*” radiativo é tão importante que a taxa de queima em um ambiente enclausurado chega a ser três vezes maior que o verificado em ambientes abertos sem o represamento da fumaça e, para ser alcançado leva 1/3 do tempo dos incêndios não compartimentados (DRYSDALE, 2006).

2.3.2. Pós-Flashover, incêndio em compartimento

Após a ocorrência do flashover, todas as superfícies expostas dos combustíveis no compartimento entram em combustão e a temperatura do compartimento alcançará seu valor máximo. Isso se manterá até que a produção de vapores combustíveis comece a reduzir devido ao consumo dos materiais termolisados, e o incêndio entre na fase de decaimento. A Figura 2.4 mostra a distribuição da temperatura no interior do compartimento que sofre influência direta do flashover. De acordo com Nakaya et al. (1986), no instante do flashover, a temperatura em qualquer ponto no interior do compartimento, exceto junto ao piso, é praticamente a mesma. Na figura 2.4 (a) é mostrada a distribuição de temperatura 5,67 min após a ignição. A Figura 2.4 (b) mostra o instante imediatamente anterior ao flashover e na Figura 2.4 (c) a distribuição exatamente no momento do flashover. É nessa fase que ocorre a maior probabilidade de falha estrutural da edificação, pois os materiais podem ter suas características de resistência mecânica modificadas pelas altas temperaturas, o que pode provocar a ruína das estruturas. O entendimento dos fenômenos termais após o flashover é importante para se projetar proteções adequadas para as estruturas e protegê-las dos efeitos do calor e consequente colapso.

Figura 2.4 - Distribuição vertical da temperatura de um incêndio em compartimento



Fonte: Babrauskas e Williamson (1978). Modificado pelo autor

Após o flashover, os incêndios em compartimentos passam a ser regidos pela limitação de ventilação ou pela quantidade de combustível. Esses dois fatores têm papel importante na determinação da severidade do incêndio e na resistência ao fogo das peças estruturais. Em virtude disso a temperatura no interior do compartimento também varia em função do regime de queima pois, incêndios controlados pela quantidade de combustível tendem a ser menos severos (temperaturas mais amenas) que incêndios controlados pela ventilação (Figura 2.6). Isso acontece por que o volume de ventilação que entra no compartimento influencia no resfriamento do ambiente por meio da troca de calor entre o fluxo de ar frio e os vapores gerado pela combustão. Por esse motivo, a taxa de queima dos materiais combustíveis após o flashover deve considerar os efeitos da produção de calor em função do consumo do combustível (Equação 2.18) ou em função da taxa de fluxo de ventilação para o interior dos compartimentos (Equação 2.19), dependendo do regime de queima em que se encontra o incêndio.

$$m = (\dot{Q}_F + \dot{Q}_E - \dot{Q}_L) / L_c \quad [\text{kg/s}] \quad (2.18)$$

$$m = 0,9A_w H^{1/2} \quad [\text{kg/s}] \quad (2.19)$$

Onde:

A_w e H são a área (m^2) e altura (m) da abertura de ventilação, respectivamente;

L_c é o latente de vaporização;

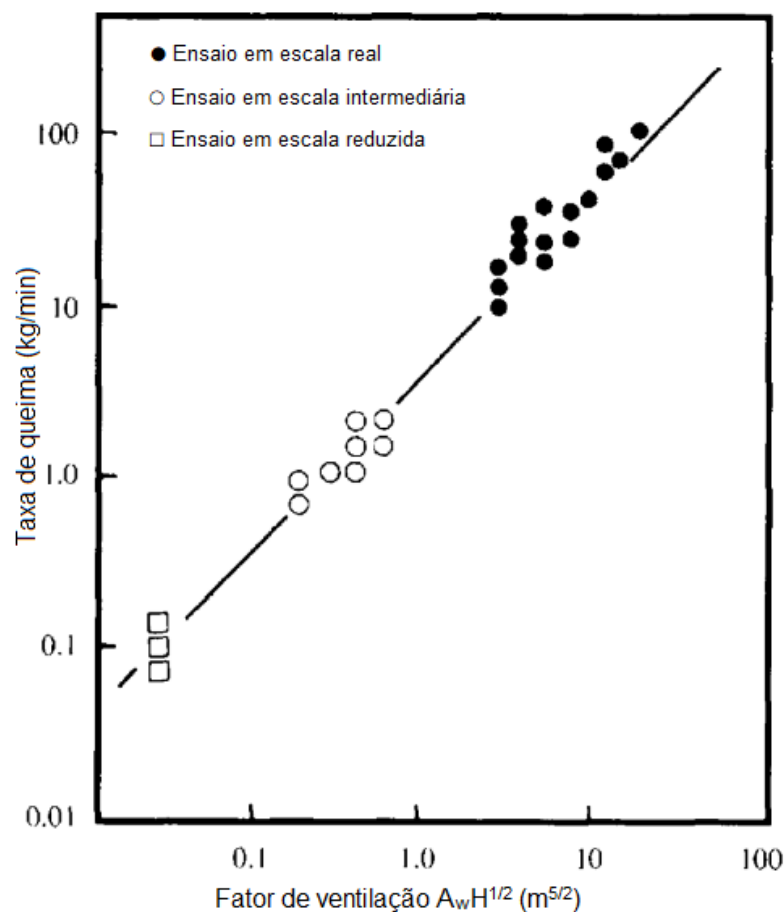
\dot{Q}_F é o fluxo de calor oriundo da chama;

\dot{Q}_E é o fluxo de calor emitido pela fumaça;

\dot{Q}_L é o fluxo de calor absorvido pela superfície do combustível

A Figura 2.5 mostra os resultados obtidos por Kawagoe e Sekine (1963) para a taxa de consumo de berços de madeira em ambiente compartimentado em função do “fator de ventilação” ($A_w H^{1/2}$) para incêndios controlados pela ventilação. Os valores numéricos para as taxas de consumo obtidos no ensaio se correlacionaram bem com a Equação 2.19.

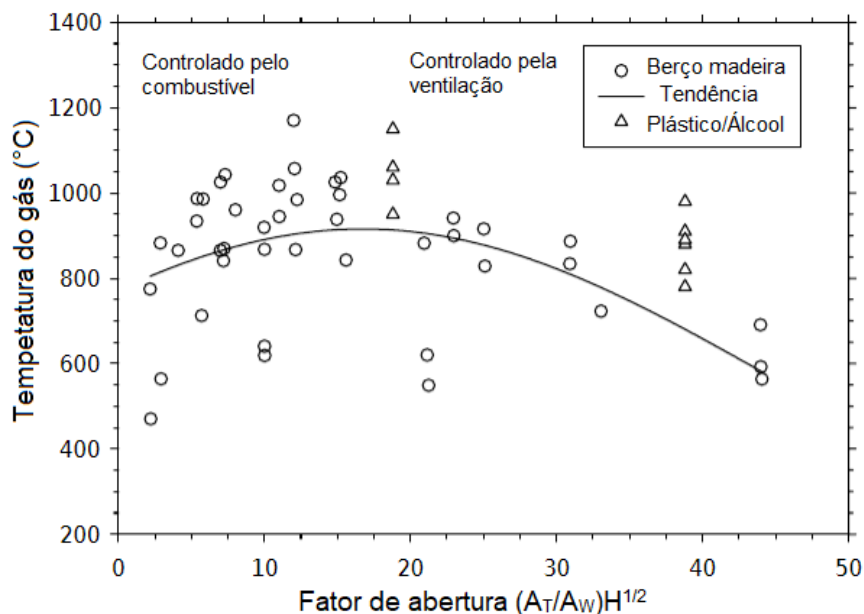
Figura 2.5 - Taxa de queima de berços de madeira em incêndio compartimentado em função do fator de ventilação



Fonte: Kawagoe e Sekine (1963). Modificado pelo autor

A Figura 2.6 mostra o comportamento da temperatura média em função do “fator de abertura” $(A_T/A_W)H^{1/2}$ obtido por meio de ensaios realizados pelo CIB (Conseil International du Batiment – Roterdã) com o objetivo de determinar os fatores que influenciam no comportamento de um incêndio na fase de desenvolvimento completo. De acordo com Thomas e Heselden (1972), no incêndio controlado pelo combustível o fluxo de ar em excesso para o interior do compartimento atua moderando a temperatura média. O ponto de equilíbrio entre o regime de incêndio controlado pelo combustível e o regime de incêndio controlado pela ventilação dependerá da relação entre a taxa de volatilização dos combustíveis e a taxa de fluxo de ar para o interior do compartimento.

Figura 2.6 - Temperaturas dos gases de incêndio em compartimentos em função do fator de abertura



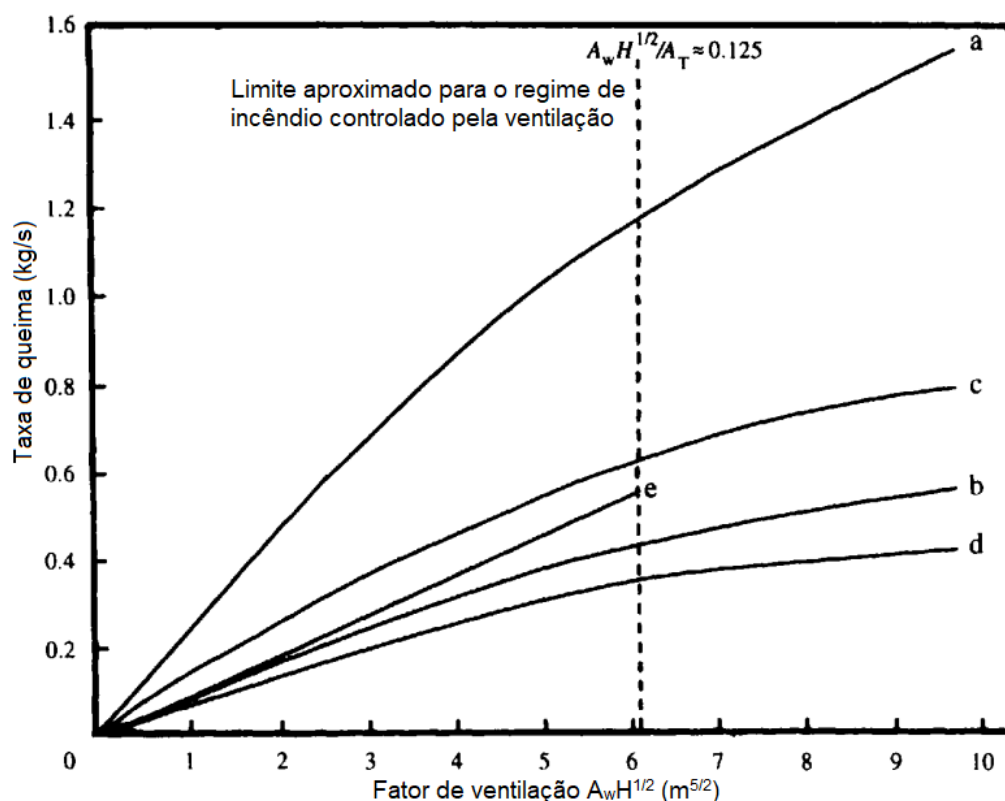
Fonte: Beyler et al. (2007). Modificado pelo autor

Embora pareça que o regime de queima dependa da volatilidade do combustível e da oferta de oxigênio, convém acrescentar que um incêndio real possui outros fatores que influenciam diretamente na sua severidade. Butcher et al. (1968) realizaram ensaios de incêndios em compartimento com mesma carga de incêndio (madeira), mesma taxa de abertura e geometria do compartimento idênticas, variando apenas a forma e a distribuição do combustível. No primeiro ensaio a distribuição do combustível foi realizada na forma de berços de madeira, caibros regularmente dispostos, e no segundo o combustível foi distribuído em lâminas como material de revestimento de parede. A longa área de exposição do material combustível no último caso produziu flashover com chamas emergindo para fora do compartimento pelas aberturas enquanto que no primeiro ensaio o incêndio nos berços se comportou como um regular incêndio controlado pelo combustível sem a ocorrência do fenômeno flashover. Esse conceito de área de exposição dos materiais combustíveis tem influência direta na observação da severidade de um incêndio em compartimento.

Por outro lado, combustíveis com a mesma relação entre a superfície exposta e sua massa, terão taxa de queima diretamente influenciada pela volatilidade e a ventilação. Bullen (1977) realizou ensaios utilizando combustíveis líquidos com diferentes latentes de vaporização (L_v). Ele comparou a taxa de queima desses combustíveis para um

mesmo fator de ventilação, $A_w H^{1/2}$ ($m^{5/2}$), e fatores de ventilação diferentes. O resultado dos ensaios é mostrado na Figura 2.7 e observa-se que líquidos menos voláteis com o mesmo calor de combustão ($\Delta H_{c,air}$) possuem taxa de queima maior (curva do líquido “a”). O efeito da volatilidade na taxa de queima está diretamente relacionado com a produção de vapores o que pode tornar a mistura gasosa rica, preenchendo rapidamente o compartimento. Este efeito limita a entrada do oxigênio necessário para a combustão reduzindo o consumo do combustível. Em contrapartida, para líquidos com mesma taxa de volatilização o calor de combustão tem grande influência na taxa de queima (líquidos “a” e “d”), ou seja, quanto maior o calor de combustão maior é a taxa de queima. Em todos os casos, a taxa de queima é diretamente proporcional ao fator de ventilação.

Figura 2.7 - Temperaturas dos gases de incêndio em compartimentos em função do fator de ventilação



Fonte: Bullen (1977). (a) $\Delta H_{c,air} = 3 \text{ kJ/g}$, $L_v = 0,5 \text{ kg/s}$; (b) $\Delta H_{c,air} = 3 \text{ kJ/g}$, $L_v = 2,0 \text{ kg/s}$; (c) $\Delta H_{c,air} = 2,5 \text{ kJ/g}$, $L_v = 0,85 \text{ kg/s}$; (d) $\Delta H_{c,air} = 1,5 \text{ kJ/g}$, $L_v = 0,5 \text{ kg/s}$; (e) Taxa de queima de acordo com a Equação 2.19. Modificado pelo autor

2.4. CONCEITOS DE COMPARTIMENTAÇÃO

A compartimentação de áreas é uma medida de segurança contra incêndio classificada como proteção passiva, constituída de elementos de construção resistentes ao fogo cujo objetivo é evitar ou minimizar a propagação de fogo, calor e gases, interna ou externamente à edificação, no mesmo pavimento ou entre pavimentos consecutivos (ABNT NBR 13860:1997). As regras de compartimentação variam de estado para estado no Brasil, de acordo com legislação específica e, na maioria dos casos são redigidas por Corpos de Bombeiros. Não há no Brasil uma legislação da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) sobre o tema e cada estado da federação adota as regras que deseja aplicar. O documento em vigor no Estado de São Paulo sobre compartimentação, a IT 09:2018 (CBPMESP, 2018), é adotado pela maioria dos Corpos de Bombeiros no Brasil.

A compartimentação é obtida por meio de elementos construtivos tais como portas corta-fogo, selos corta-fogo, paredes corta-fogo, registros corta-fogo, instalados nos limites das áreas compartimentadas. Esses elementos devem possuir resistência ao fogo mínima (TRRF – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo) superior ao exigido em norma de acordo com a sua espécie e função. A resistência ao fogo é garantida por meio de ensaios padronizados por normas da ABNT, tais como as ABNT NBR 10636:1989 – Paredes divisórias sem função estrutural, Determinação da Resistência ao Fogo e ABNT NBR 6479:1992 – Portas e Vedadores, Determinação da Resistência ao Fogo.

2.4.1. Regras para compartimentação horizontal em vigor no Brasil

Apesar de não haver uma legislação da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) sobre compartimentação horizontal no Brasil, a maioria dos estados da Federação adotaram a legislação do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP). Isso proporcionou um caráter uniforme para o tema compartimentação fazendo com que os critérios para compartimentação horizontal fossem semelhantes na maioria dos Estados da Federação.

As regras para compartimentação horizontal no Brasil consideram a ação simultânea do uso de paredes corta fogo separando as áreas compartimentadas e a exigência de afastamento mínimo entre aberturas adjacentes ou frontais. O uso de paredes corta fogo entre áreas compartimentadas impede a propagação do incêndio por condução, irradiação e convecção e a regra de afastamento entre as aberturas deve ser tal que impeça a propagação do calor por convecção e irradiação.

As “paredes corta fogo” são constituídas por materiais resistentes ao fogo com TRRF igual ou superior ao exigido para as estruturas da edificação, conforme prever a ABNT NBR 14432:2001 – Exigência de Resistência ao Fogo de Elementos de Construção de Edificações. Além disso, devem possuir capacidade resistente para suportar a ação do calor sem que haja ruptura da barreira física entre os ambientes vizinhos.

Tabela 2.3 - Afastamentos mínimos entre aberturas situadas em fachadas paralelas ou não coincidentes

Porcentagem de abertura de toda a fachada (%)¹	Distância d (m)
Até 20	4
De 21 até 30	5
De 31 até 40	6
De 41 até 50	7
De 51 até 60	8
De 61 até 70	9
Acima de 70	10

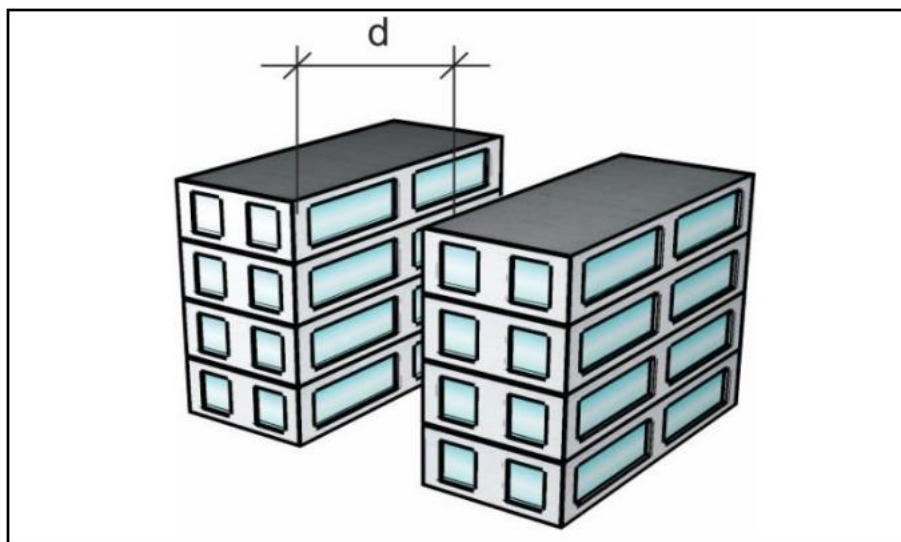
1 - A porcentagem da abertura da fachada é o resultado do quociente entre a soma das áreas das aberturas nas fachadas confrontantes pela soma total da área superficial destas fachadas.

Fonte: IT 09 CBPMSP (2018).

Uma característica importante da parede de compartimentação é sua estrutura, que deverá ser construída entre o piso e o teto, e vinculada à estrutura do edifício, com reforços estruturais adequados, para conferir-lhe resistência mecânica. Sua parte superior deverá ultrapassar a linha de cobertura da edificação (telhado) sempre que a estrutura da cobertura for constituída por materiais combustíveis. Devem ainda impedir o colapso de suas estruturas em situação de queda da cobertura, evitando a propagação do fogo para a área compartimentada não atingida (MARCATTI, COELHO FILHO e BERQUÓ FILHO, 2008).

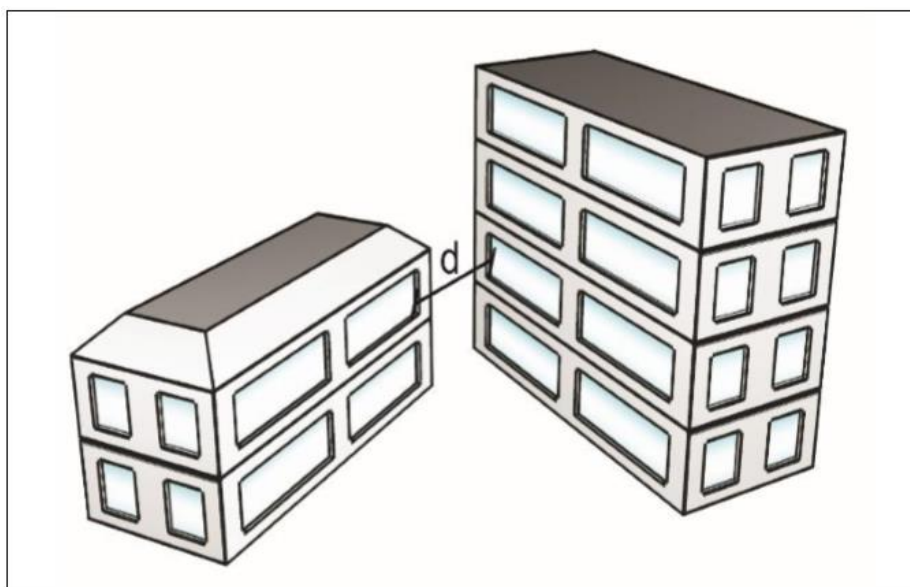
Sendo assim, garantida a eficiência das paredes corta fogo, a compartimentação horizontal será efetiva desde que o afastamento “d” entre aberturas situadas em fachadas paralelas seja superior ao previsto na Tabela 2.3 e nas Figuras 2.8 e 2.9.

Figura 2.8 - Distância entre fachadas paralelas



Fonte: IT 09 CBPMSP (2018).

Figura 2.9 - Distância entre fachadas não coincidentes

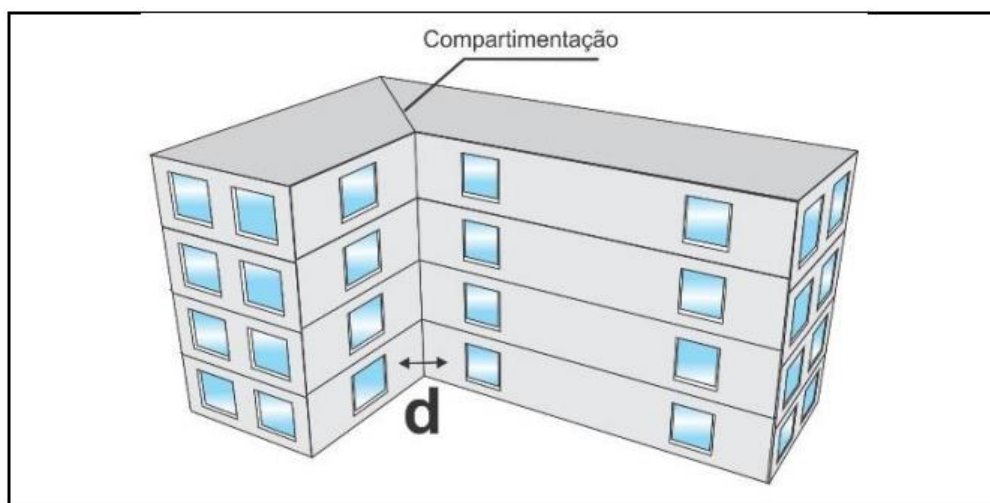


Fonte: IT 09 CBPMESP (2018).

De acordo com a IT 09:2018 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar de São Paulo, para o caso de aberturas localizadas em fachadas ortogonais o afastamento “d” não poderá ser inferior a 4 metros medido conforme mostra a figura 2.10, exceto se as

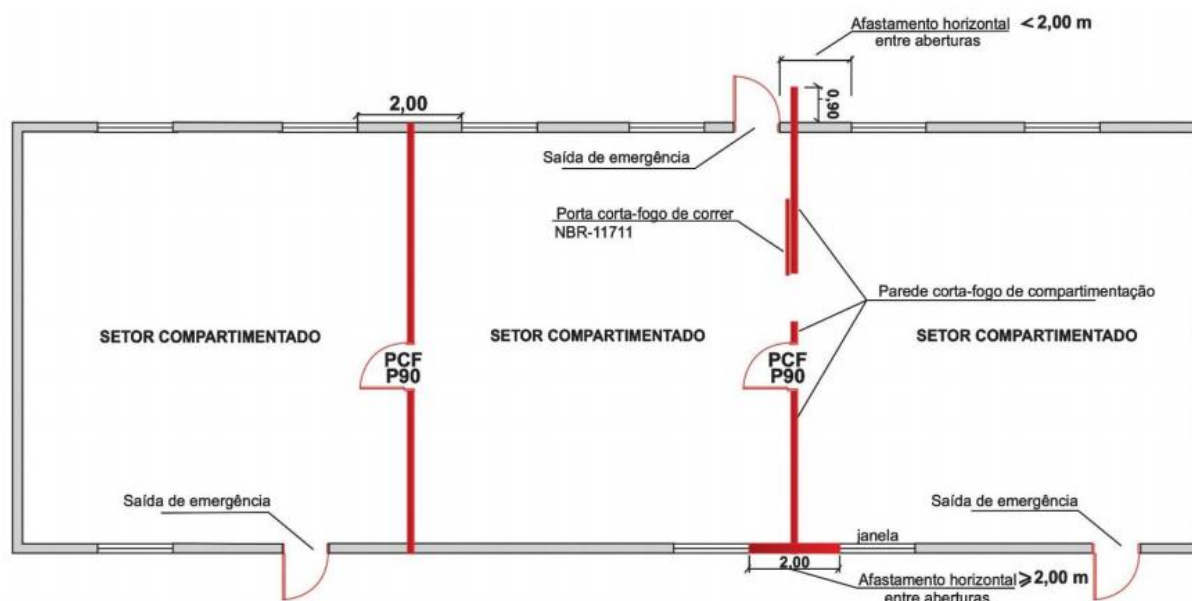
áreas ventiladas por essas aberturas se tratarem de áreas “molhadas” tais como banheiros, piscinas.

Figura 2.10 - Fachadas ortogonais



Fonte: IT 09 CBPMESP (2018).

Figura 2.11 - Afastamento mínimo entre aberturas adjacentes localizadas na mesma parede



Fonte: IT 09 CBPMESP (2018).

As aberturas (janelas, portas, etc.) existentes na mesma fachada, em lados opostos da parede de compartimentação, devem ser afastadas entre si por um trecho de parede que não permita a passagem do incêndio para a área não atingida. Esse afastamento pode ser substituído pelo prolongamento da parede de compartimentação para área externa à edificação. Quando as aberturas de áreas de

compartimentação adjacentes estiverem em uma mesma parede, elas deverão estar afastadas no mínimo de 2 metros entre si, podendo ser substituídas por um prolongamento horizontal de 0,90 metros perpendicular à parede onde encontra-se as aberturas. A Figura 2.11 mostra os afastamentos mínimos entre aberturas adjacentes localizadas em uma mesma parede exigido pela IT 09 CBPMESP (2018).

Cada código ou norma estabelece um limite para a subdivisão interna da edificação, que varia em função dos objetivos da compartimentação. O grau adequado de subdivisão leva em consideração os fatores: o uso do prédio e a carga de incêndio, que afetam diretamente a severidade do incêndio, bem como a facilidade de abandono do prédio; a altura da edificação (piso mais elevado com utilização permanente por pessoas), que é uma indicação da facilidade ou dificuldade nas ações de abandono do prédio e intervenção das equipes de socorro; e a existência de sistema de chuveiros automáticos, que afeta o crescimento do fogo, podendo até extingui-lo. A Figura 2.12 mostra as áreas máximas de compartimentação adotadas pela IT 09 CBPMESP (2018). A classificação de uso das edificações indicadas na coluna grupo da Figura 2.12 encontram-se no anexo A.

Figura 2.12 - Área máxima de compartimentação

GRUPO	TIPO DE EDIFICAÇÕES					
TIPO	I	II	III	IV	V	VI
DENOMINAÇÃO	Edificação térrea	Edificação baixa	Edificação de baixa-média altura	Edificação de média altura	Edificação mediana alta	Edificação alta
ALTURA	Um pavimento	H ≤ 6,00m	6,00m < H ≤ 12,00m	12,00m < H ≤ 23,00m	23,00m < H ≤ 30,00m	Acima de 30,00m
A-1, A-2, A-3	—	—	—	—	—	—
B-1, B-2	—	5.000	4.000	3.000	2.000	1.500
C-1, C-2	5.000	3.000	2.000	2.000	1.500	1.500
C-3	5.000	2.500	1.500	1.000	2.000	2.000
D-1, D-2, D-3, D-4	5.000	2.500	1.500	1.000	800	2.000
E-1, E-2, E-3, E-4, E-5 e E-6	—	—	—	—	—	2.000
F-1, F-2, F-3, F-4, F-7 e F-9	—	—	—	—	—	—
F-5 e F-6	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	1.000
F-8	—	—	—	2.000	1.000	1.500
F-10	5.000	2.500	1.500	1.000	1.000	1.000
G-1, G-2, G-3 e G-5	—	—	—	—	—	—
G-4	10.000	5.000	3.000	2.000	1.000	1.000
H-1, H-2, H-4, H-5	—	—	—	—	—	—
H-3	—	5.000	3.000	2.000	1.500	1.000
H-6	5.000	2.500	1.500	1.000	800	2.000
I-1	—	10.000	5.000	3.000	1.500	2.000
I-2	—	10.000	5.000	3.000	2.000	2.000
I-3	7.500	5.000	3.000	2.000	1.500	1.500
J-1	—	—	—	—	—	—
J-2	10.000	5.000	3.000	1.500	2.000	1.500
J-3, J-4	4.000	3.000	2.000	2.500	1.500	1.000
M-2 ⁽¹⁾	1.000	500	500	300	300	200
M-3	5.000	3.000	2.000	1.000	500	500

Fonte: IT 09 CBPMESP:2018.

Na maioria dos regulamentos nacionais, a área máxima admissível de compartimentação pode variar de oitocentos metros quadrados (situações mais restritivas) a dez mil metros quadrados (situações mais brandas). Porém, para alguns casos, por exemplo, edifícios habitacionais, educacionais, garagens e depósitos de materiais incombustíveis, não é determinada uma área máxima a ser compartimentada (MARCATTI, COELHO FILHO e BERQUÓ FILHO, 2008).

Segundo o decreto no 56.819 do Estado de São Paulo de 2011 na maioria das edificações cuja altura é inferior a 30 metros é possível substituir a compartimentação horizontal pela instalação de chuveiros automáticos, desde que eles estejam associados ao sistema de detecção de incêndio.

3. ESTADO DA ARTE

O CFD, método numérico que usa dinâmica dos fluidos computacionais, tem se mostrado muito eficiente para análise numérica de incêndio em países que desenvolvem pesquisas relacionadas com o tema e o Fire Dinamyc Simulator (FDS) é uma opção viável com custos mínimos aos pesquisadores, uma vez que é um programa computacional livre. Neste contexto, muitos pesquisadores utilizam o FDS com esse fim e, ao delimitarmos o tema encontramos alguns trabalhos de grande relevância.

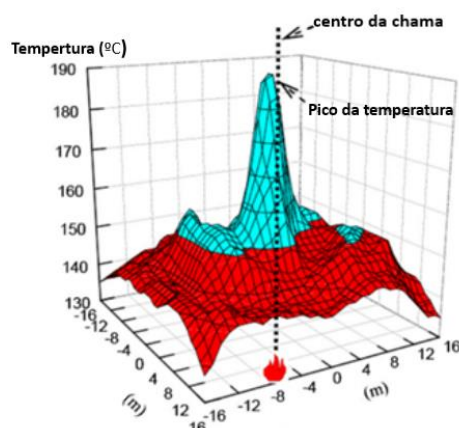
3.1. PESQUISAS INTERNACIONAIS

Yong Du et al. (2012), com base em informações obtidas de ensaio em escala natural de incêndio em compartimento de maiores dimensões realizado pelo laboratório de ciência do fogo “State Key” na China, reproduziu numericamente o incêndio com o uso da ferramenta computacional FDS, cujos resultados obtidos se aproximaram dos valores obtidos no ensaio real. Foi verificado que o comportamento do incêndio, em grandes compartimentos, se mostrou diferente do preconizado pela curva de incêndio da ISO 834:1999. Além disso, as temperaturas limites de incêndios em ambientes amplos demonstraram ser governadas por variáveis, tais como: taxa de liberação de calor, área de piso, pé-direito e afastamento linear horizontal em relação ao eixo central da fonte principal de calor.

Verificou-se que com o aumento da taxa de liberação de calor, a temperatura máxima do compartimento é maior; com o aumento da área do piso, a temperatura máxima do compartimento é menor; com o aumento da altura do espaço interno, a temperatura máxima é menor; e a temperatura do ambiente decai radialmente da linha central da fonte principal de calor em plano horizontal, como mostra a Figura 3.1.

No entanto, ao comparar os efeitos da distribuição da temperatura do incêndio segundo a ISO 834:1999 com a distribuição da temperatura obtida através da simulação no FDS, observou-se que a temperatura dos gases em contato com a estrutura da edificação não se apresenta de forma uniforme, conforme prevê a ISO.

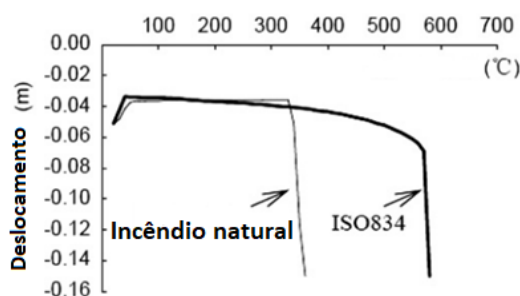
Figura 3.1 - Simulação da distribuição de temperatura no plano horizontal a 12 m de altura por meio do FDS



Fonte: Yong Du et al. (2012), modificado pelo autor.

De acordo com Yong Du et al. (2012), após ter realizado análise numérica das treliças que suportavam a cobertura do ambiente com o uso da ferramenta computacional ANSYS, observou-se que o colapso da estrutura para o incêndio padronizado pela curva ISO 834:1999 ocorreu na temperatura de 570 °C. Quando a mesma análise foi realizada utilizando os dados do incêndio obtido por meio do FDS, a estrutura colapsou em uma temperatura de 340 °C. Isso é extremamente significativo quando se trata de proteção estrutural pois, a solução de proteção deve ser dimensionada de forma que a estrutura suporte os efeitos da temperatura dos gases sem que haja colapso estrutural, ou seja, 570 °C de acordo com a ISO 834:1999 e 340 °C de acordo com a solução de incêndio obtida com o FDS. É nítido que o uso da solução proposta pela ISO 834 possui considerável grau de imprecisão para ambientes “amplos” e pode ser motivo de dimensionamento inadequado da proteção contra incêndio da estrutura. A Figura 3.2 mostra a deformação da treliça em função da temperatura nos ensaios analisados numericamente por meio do ANSYS.

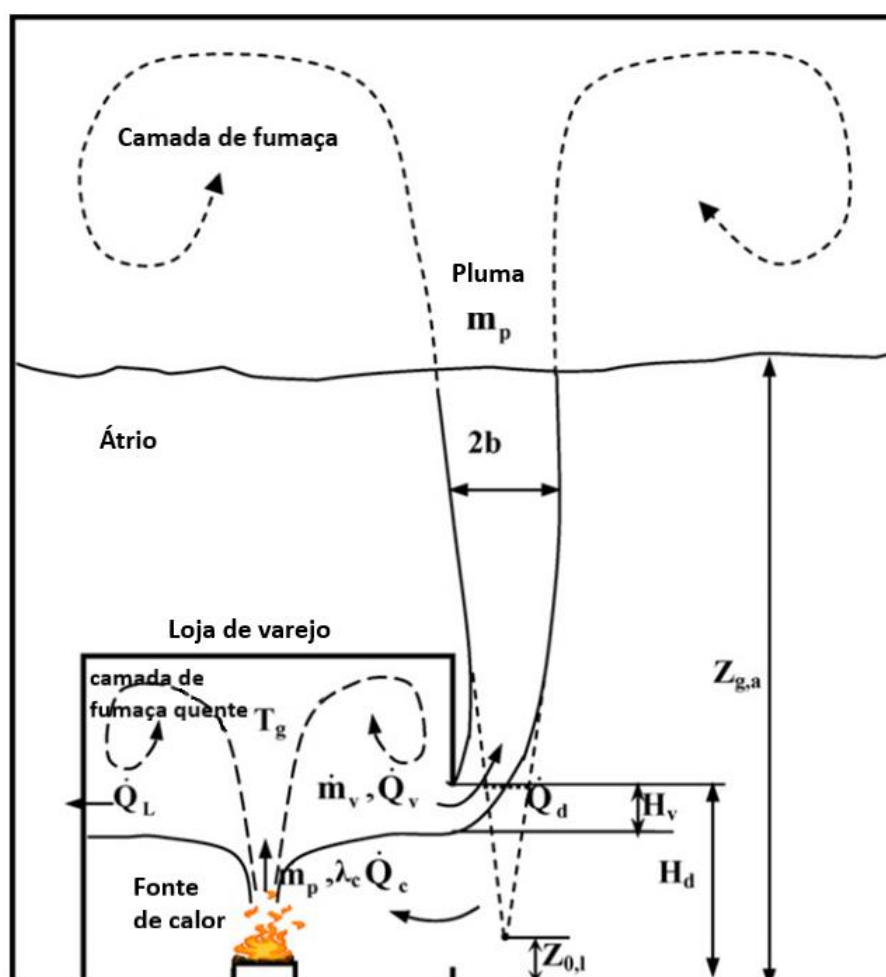
Figura 3.2 - Curva de deformação da treliça espacial pirâmide regular.



Fonte: Yong Du et al. (2012).

Shi et al. (2007), propôs um modelo geométrico para a movimentação de massa e calor (fumaça) oriundo de uma fonte incêndio em uma loja de varejo no interior de “Shopping Centers” de pé-direito consideravelmente elevado. Segundo Shi et al. (2007), ao estudar um incêndio oriundo de uma loja varejista no interior de um shopping, verificou-se que assim que a fumaça deixa o vão da porta da loja ela desenha no espaço uma figura composta de três fases bem distintas. Essas regiões foram denominadas como região curva nas proximidades da porta da loja, região linear angular medial e região de comportamento assimétrico da fumaça em uma fase superior e distante da porta da loja. A Figura 3.3 mostra a distribuição da fumaça nas três fases.

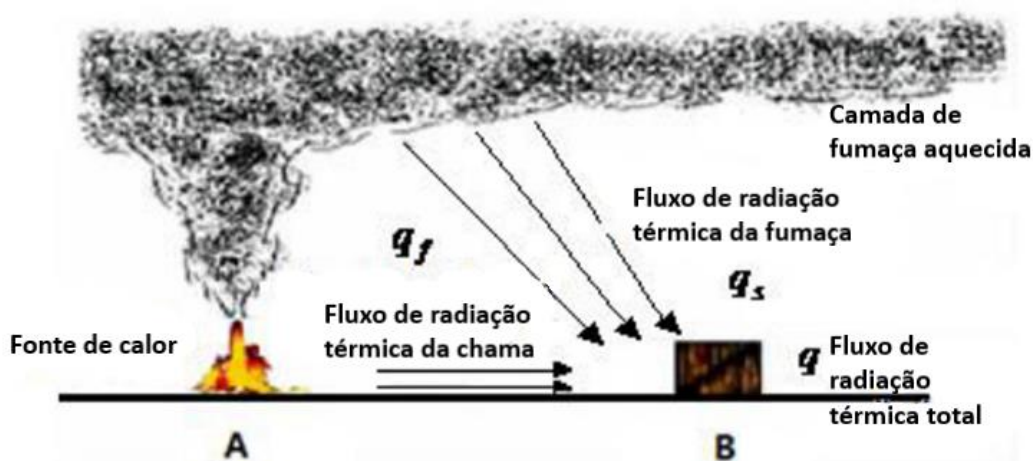
Figura 3.3 - Comportamento da fumaça devido a um incêndio em loja localizada em um grande átrio



Fonte: Shi et al. (2007).

Jian-fu Wu (2016) apresentou um estudo utilizando a ferramenta FDS para avaliar a eficiência de corpos d'água em restaurantes como mecanismo de compartimentação horizontal. Segundo Jian-fu Wu (2016) a instalação de corpos d'água decorativos em restaurantes ecológicos é uma solução viável e efetiva como elemento de compartimentação horizontal, desde que a largura mínima desses elementos seja de quatro metros e estenda-se ao longo de toda a dimensão que se deseja isolar. Os corpos d'água decorativos são incombustíveis, o que impede o mecanismo de condução de incêndio. Dessa forma, radiação de calor proveniente da fonte de incêndio e da fumaça torna-se o principal meio de propagação do incêndio para a vizinhança, como mostra a Figura 3.4. Convém salientar que os resultados são específicos para a arquitetura estudada. Na pesquisa foi determinada, analiticamente e por meio do FDS, a distância mínima para que o calor irradiado da fonte e da fumaça não gere a ignição dos materiais combustíveis na circunvizinhança e esse valor, 4 metros, se tornou um parâmetro para arquitetura na proposição de lagos artificiais entre unidades autônomas vizinhas nestas ocupações.

Figura 3.4 - Diagrama esquemático de radiação térmica



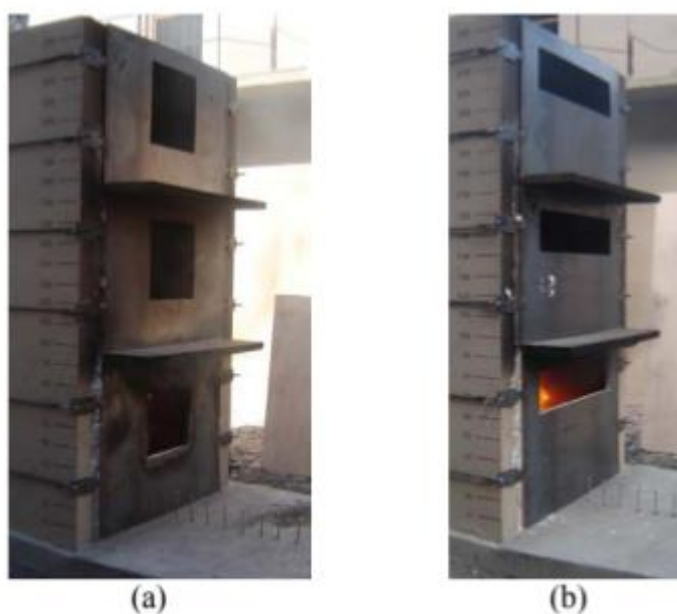
Fonte: Jian-fu Wu (2016).

3.2. PESQUISAS NACIONAIS

Rodrigues (2009) realizou um estudo sobre as regras de compartimentação vertical para fachadas em vigor no Brasil. Foram realizados ensaios em escala reduzida da propagação da chama por meio de aberturas externas, com ou sem uso de abas

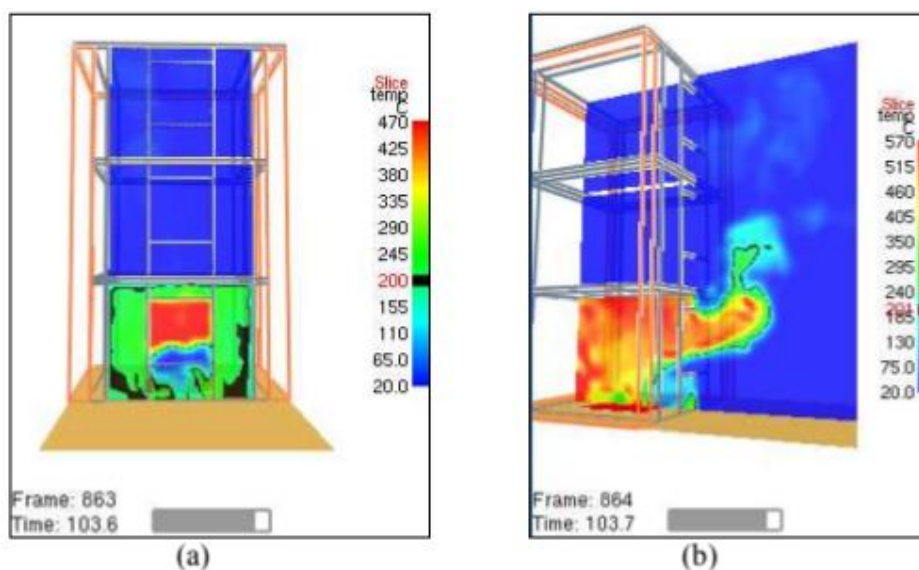
horizontais, como se vê na Figura 3.5. Adicionalmente foi simulado computacionalmente, por meio do FDS os efeitos de um incêndio na fachada de uma edificação verticalizada. A Figura 3.6 mostra os resultados extraídos por meio da simulação numérica. Sua pesquisa tinha como objetivo principal verificar se as regras normativas em vigor eram suficientes para evitar a propagação vertical de incêndio pela fachada de uma edificação.

Figura 3.5 - Composição de fachada com abas horizontais e aberturas estreitas (a) e largas (b)



Fonte: Rodrigues (2009).

Figura 3.6 - Visualização de simulação no FDS. Vista frontal (a) e lateral (b).



Fonte: Rodrigues (2009).

O estudo de Rodrigues (2009) apresentou resultados relevantes, dentre eles:

- A variação das geometrias das aberturas, mesmo com áreas iguais, influencia na projeção das chamas e fumaça na fachada da edificação modificando a propagação de incêndio;
- O pé-direito do compartimento é uma variável importante na dinâmica da propagação, pois quanto maior o pé-direito do pavimento melhor é a oxigenação do ambiente de origem do incêndio;
- A compartimentação interna entra como uma variável de extrema relevância pois influencia na dinâmica de propagação do incêndio, por isso deve-se acrescentar seu efeito ao da carga de incêndio.

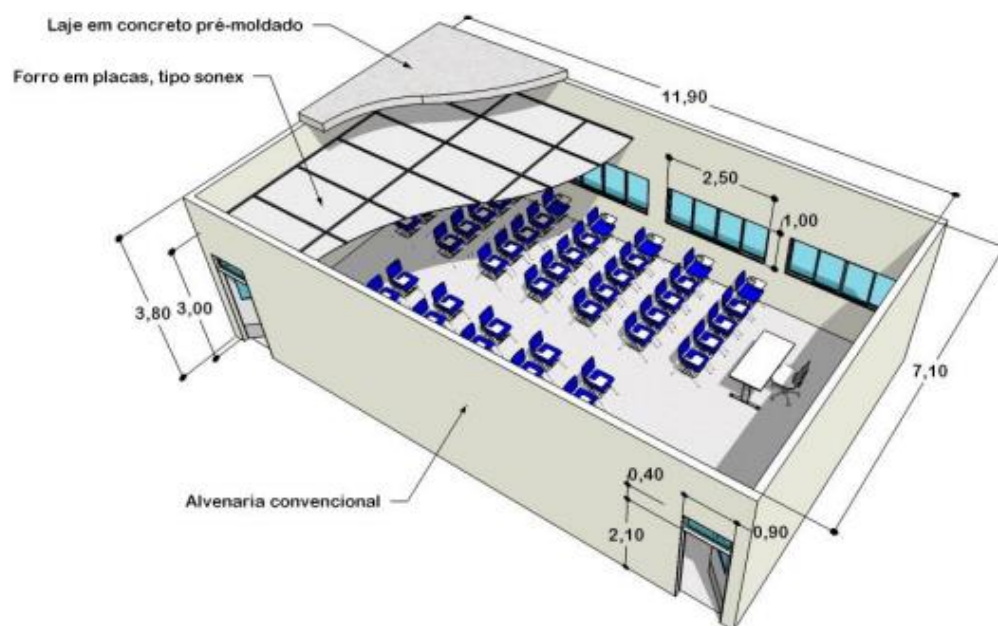
Rodrigues (2009) concluiu que em edificações com aberturas largas, as abas horizontais são mais eficientes devido ao comportamento das chamas que emergem das aberturas. Em edificações com baixa carga de incêndio, os afastamentos de 1,2m entre vergas e peitoris ou abas horizontais de 0,9 m previstas em normas de compartimentação se mostraram eficientes para isolar completamente o risco e evitar a propagação pela fachada.

Em todos os casos analisados, as abas horizontais são mais eficientes e efetivas como ferramenta de compartimentação vertical, ou retardante de propagação do incêndio do que os afastamentos entre aberturas verticais. De acordo com Rodrigues (2009), o simples uso dos requisitos da norma de compartimentação, sem levar em consideração variáveis como carga de incêndio, pé-direito, geometria das aberturas e compartimentação do ambiente, não é garantia inequívoca de isolamento vertical entre os pavimentos contíguos de uma edificação verticalizada.

No que diz respeito à compartimentação horizontal interna das edificações, Cunha (2016) verificou que, assim como Rodrigues (2009), a distribuição dos ambientes de uma ocupação tem papel preponderante para facilitar a propagação do incêndio, ou impedir seu livre desenvolvimento. Ele propôs, com o auxílio da simulação computacional (CFD) por meio do FDS, uma forma de compartimentação horizontal seletiva aplicada em um modelo representativo de uma edificação acadêmica de médio porte. As Figuras 3.7 e 3.8 mostram a arquitetura utilizada para a sala de aula e a compartimentação proposta, respectivamente. Após simular um número finito de soluções arquitetônicas para um mesmo ambiente de uma edificação acadêmica,

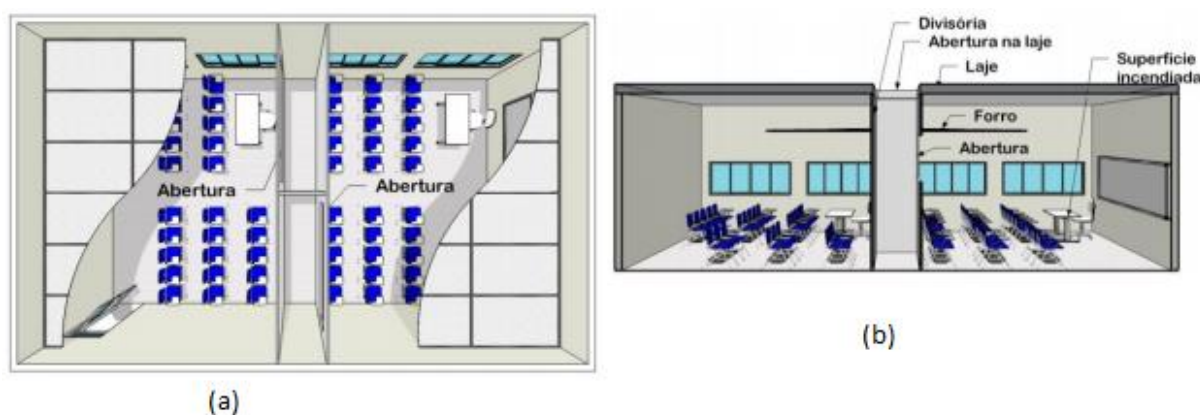
testar a hipótese de compartimentação horizontal seletiva que consistia em uma solução arquitetônica para desfavorecer a propagação de incêndio, e promover a exaustão da fumaça confinando a chama e o calor no ambiente de origem, verificou em seu estudo que houve uma melhora significativa nas condições de evacuação da edificação.

Figura 3.7 - Representação esquemática do caso-base, de acordo com o projeto arquitetônico



Fonte: Cunha (2016).

Figura 3.8 - Compartimentação seletiva: (a) vista superior; (b) vista frontal



Fonte: Cunha (2018) modificado pelo Autor.

De acordo com Cunha (2016) os resultados obtidos se mostraram promissores e a compartimentação seletiva se mostrou capaz de retardar o crescimento da camada

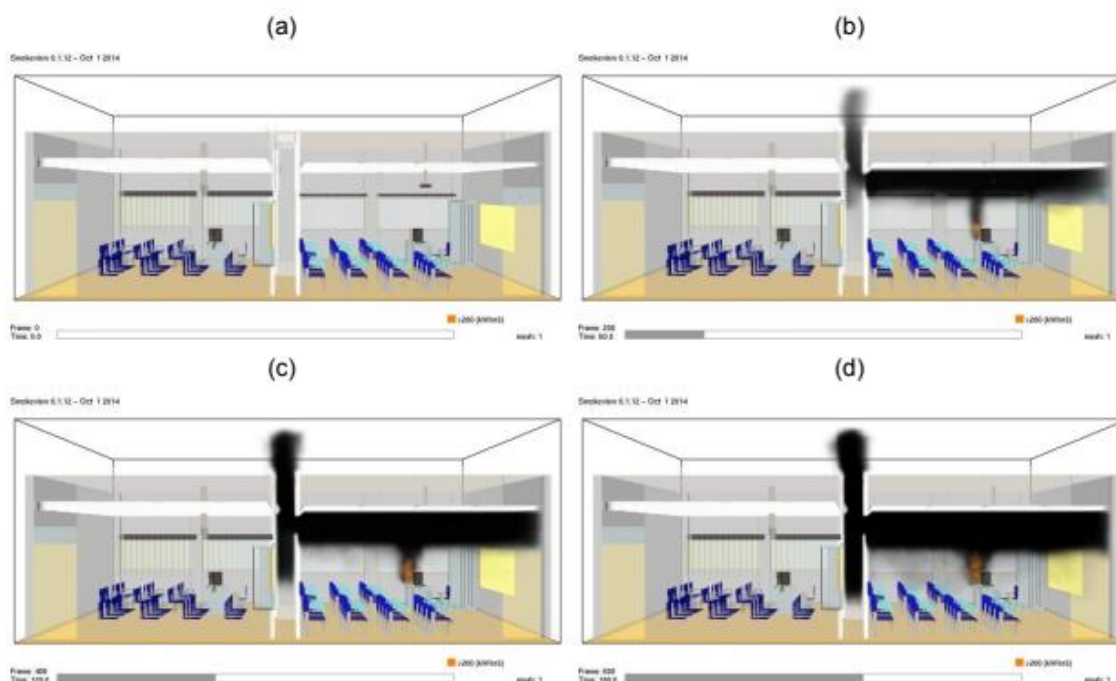
de fumaça de modo a quadruplicar o tempo de evacuação da edificação. Portanto, o FDS se mostrou eficiente em simular os efeitos do incêndio nos ambientes analisados como mostram as Figuras 3.9 e 3.10.

Figura 3.9 - Representação do caso-base gerado pelo FDS



Fonte: Cunha (2016).

Figura 3.10 - Simulação FDS como o uso de compartimentação seletiva nos instantes (a) 0.; (b) 60.; (c) 120.; (d) 180 s



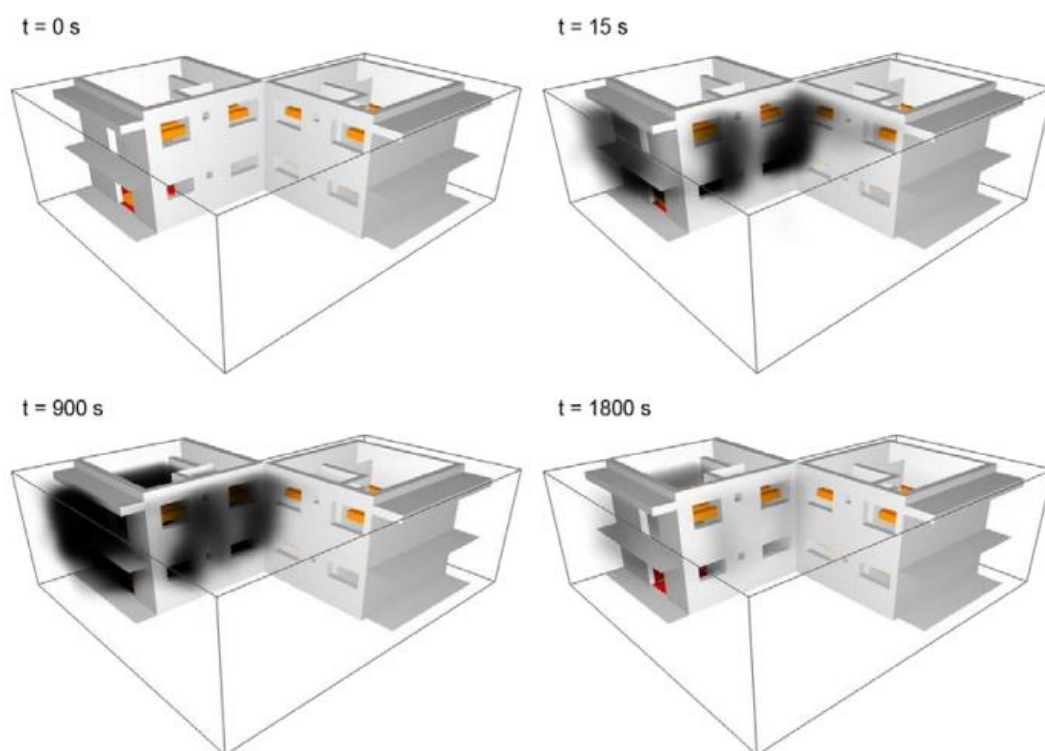
Fonte: Cunha (2016).

Andrade (2018) fez uma análise comparativa de normas de compartimentação em vigor em cinco países: Brasil, Portugal, Inglaterra, Hong Kong e Estados Unidos. O

autor também utilizou simulações computacionais, com base na teoria dos volumes finitos e da fluidodinâmica computacional, de forma a verificar a influência das exigências de compartimentação na propagação de um incêndio. Concluiu-se que as compartimentações vertical e horizontal são de extrema importância para a segurança à vida, porém a normatização internacional ainda é dispersa, embora haja diversos fatores concordantes.

No que diz respeito às simulações numéricas por meio do FDS, Andrade (2018) considera que os resultados obtidos foram adequados e que é possível a realização de simulações computacionais, dada as devidas simplificações, para serem utilizados em estruturas reais. Para realizar o estudo, foi simulado por meio do FDS um ambiente verticalizado de dois pavimentos, com vizinhança perpendicular, a fim de verificar a propagação de incêndio, de acordo com a Figura 3.11.

Figura 3.11 - Evolução da fumaça gerada pelo incêndio nos instantes $t = 0$, 15, 900 e 1800 s

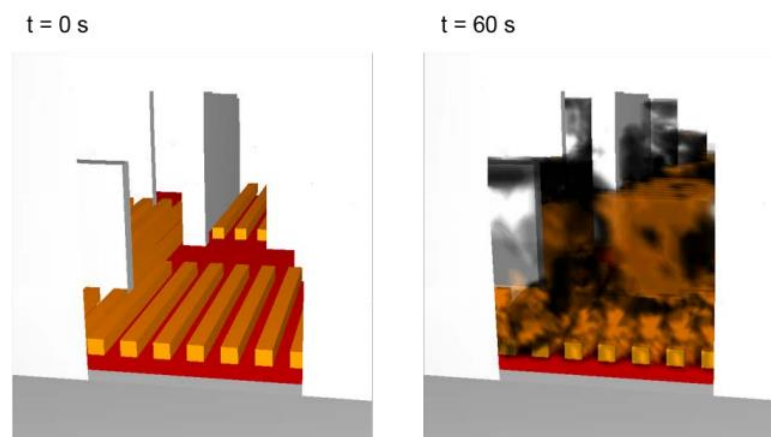


Fonte: Andrade (2018).

No ensaio representado pela Figura 3.11 a fonte de calor foi introduzida no pavimento inferior da edificação cuja carga de incêndio foi cuidadosamente distribuída por meio de caibros de madeira, conforme Figura 3.12. A simulação numérica representou o

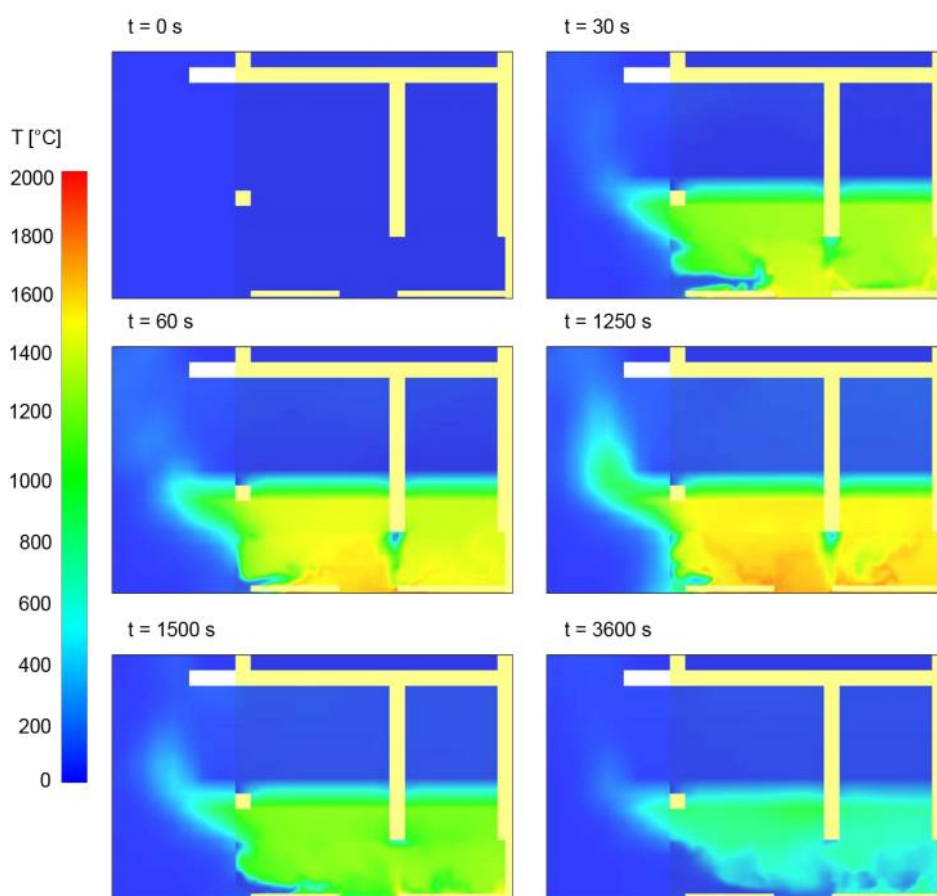
incêndio desde sua gênese até o consumo total da carga de incêndio do apartamento onde a temperatura variou de 600°C a 1500°C, sendo a média em torno de 1050°C, como mostra a Figura 3.13.

Figura 3.12 - Distribuição da carga de incêndio no interior do pavimento inferior



Fonte: Andrade (2018).

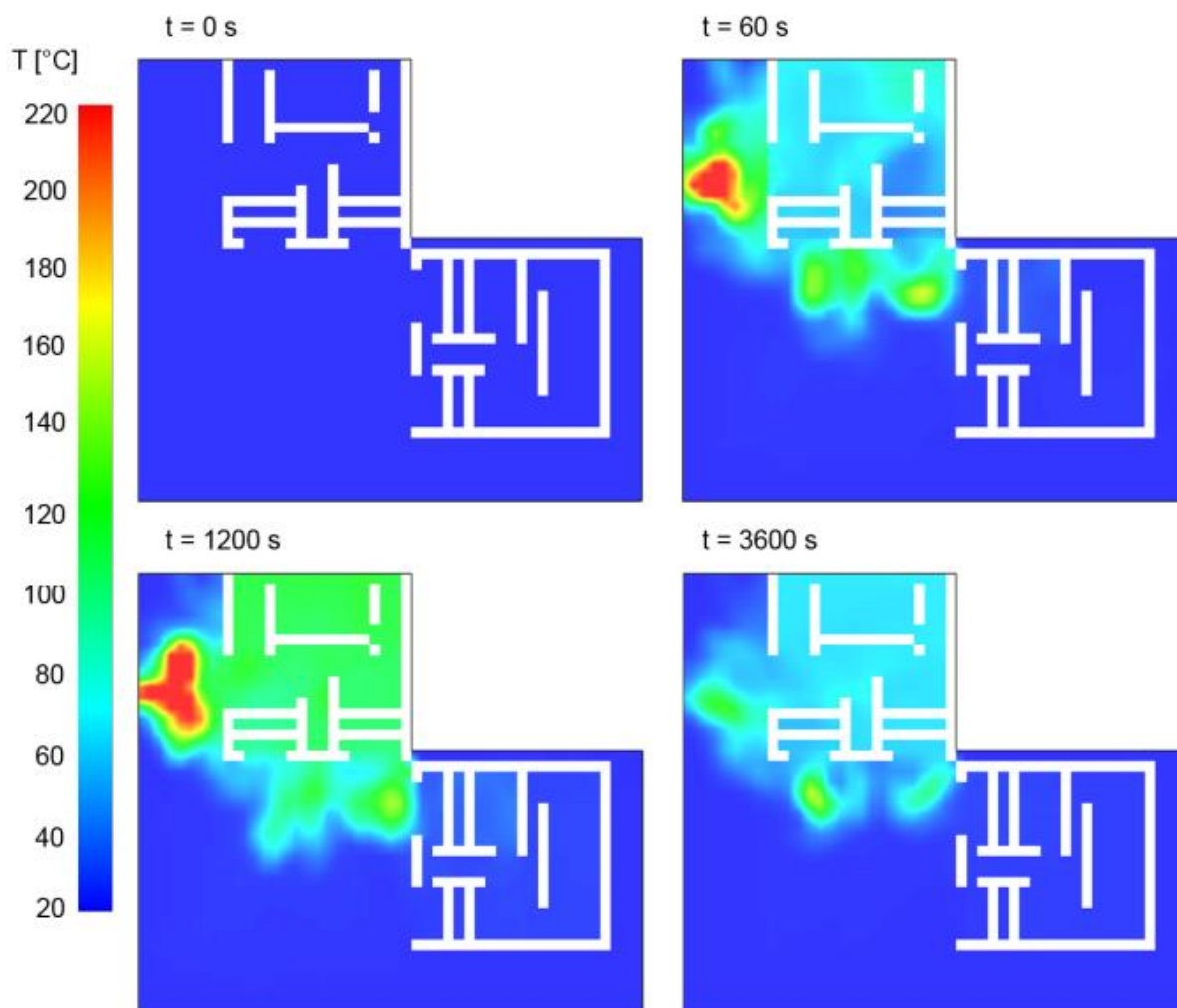
Figura 3.13 - Temperaturas no plano Y-Z que corta o centro do compartimento fonte do incêndio nos instantes $t = 0, 30, 60, 1250, 1500$ e 3600 s



Fonte: Andrade (2018).

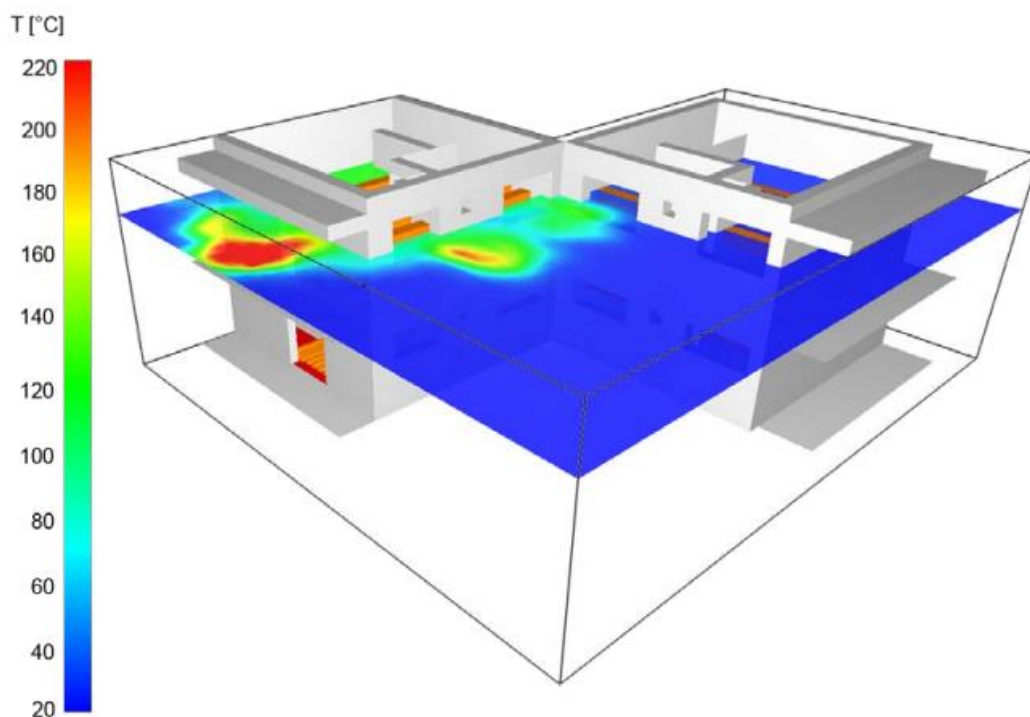
As Figura 3.14 e 3.15 mostram a variação de temperatura nos compartimentos superiores, na cota vertical 4,6 metros, causado pela convecção de gases quentes, sendo possível verificar a temperatura máxima de cento e cinquenta graus Celsius ($150\text{ }^{\circ}\text{C}$) no compartimento logo a cima da fonte do incêndio.

Figura 3.14 - Temperaturas no plano X-Y que corta o centro do 2º pavimento nos instantes $t = 0, 60, 1200$ e 3600 s



Fonte: Andrade (2018).

Figura 3.15 - Temperaturas no plano X-Y na cota Z =4,6 e t = 830s



Fonte: Andrade (2018).

De acordo como Andrade (2018) o FDS também pode ser empregado em estudos mais avançados a fim de desenvolver uma normatização com maior cunho científico e, dessa forma, propiciar ao legislador a possibilidade de verificação da eficiência e a efetividade das regras normativas em vigor ou que se deseja implementar.

4. FIRE DYNAMICS SIMULATOR

O FDS é um programa computacional que resolve equações que descrevem a evolução do incêndio. É um programa que utiliza a linguagem de programação Fortran, lê os parâmetros de entrada de um arquivo de texto, calcula uma solução numérica para as equações governantes e grava os dados de saída especificados pelo usuário em arquivos. Ele é um programa computacional de CFD (Computational Fluid Dynamics) que permite simular situações de incêndio em múltiplos compartimentos. “Ele resolve numericamente uma forma das equações de Navier-Stokes apropriada para escoamentos de baixa velocidade, com fluxo termicamente dirigido e com ênfase no transporte de calor e fumaça dos incêndios” (SEITO et al., 2008). Para explicitar os resultados utiliza o software “Smokeview” que é uma ferramenta acessória do FDS de visualização das simulações numéricas produzidas. Assim como o Smokeview, o software “Pyrosim” é uma ferramenta acessória que permite de forma intuitiva o carregamento das informações de entrada alimentando o programa com a geometria do ambiente, características dos materiais de acabamento, tipo de materiais, potencial calorífico, dentre outras condições de contorno.

O FDS foi desenvolvido pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST), instituto norte-americano, fundado em 1901, com a missão de promover a inovação e competitividade industrial americana por meio de medidas científicas avançadas, normas e tecnologia (SEITO et al., 2008).

A principal vantagem em utilizar ferramenta de CFD é, com baixo custo de investimento, poder reproduzir com boa aproximação ambientes de incêndio, obter dados do comportamento do fogo, temperatura dos fluidos, taxa de liberação de calor dos materiais combustíveis, concentração dos produtos da combustão, temperatura superficial dos materiais, distribuição das temperaturas nos ambientes internos e externos, dentre outros. Essas características potencializam o uso do FDS e o torna uma opção viável para pesquisa e melhoramentos tecnológicos de materiais e técnicas de prevenção de incêndio.

No entanto, como em toda ferramenta de simulação computacional, ele precisa de validação e muitos trabalhos foram desenvolvidos ao longo do tempo com o objetivo de verificar a eficácia do FDS em reproduzir incêndios em geral.

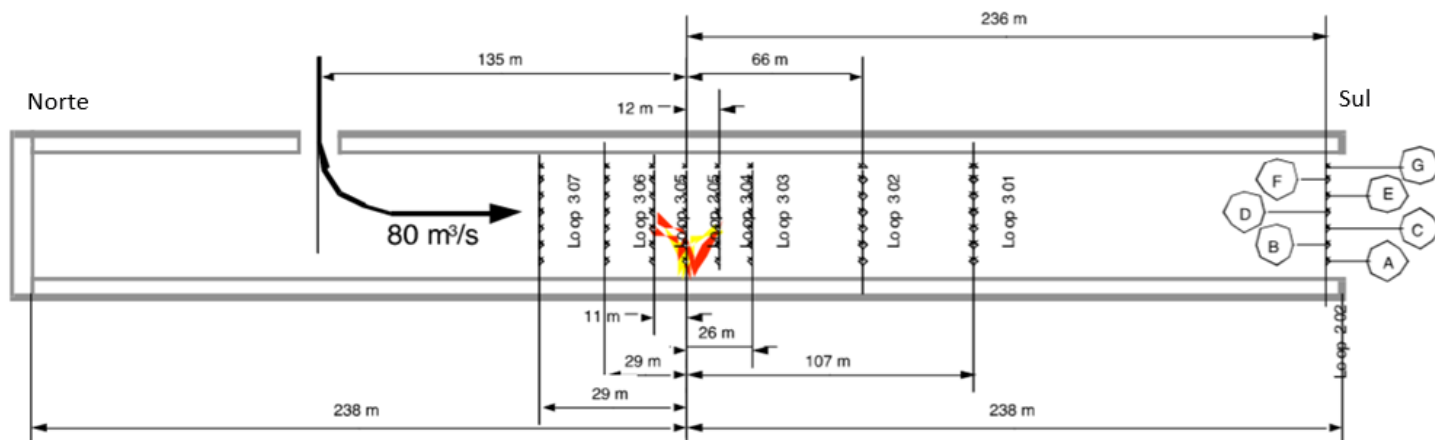
4.1. TRABALHOS DE VALIDAÇÃO DO FIRE DYNAMIC SIMULATOR

Muitas foram as pesquisas cujo objeto era a validação da ferramenta de análise computacional de incêndio FDS. Dentre elas pode-se citar: a “Validação do software livre 'Fire Dynamics Simulator versão 2.0' para simular incêndios em túneis (COCHARD, 2003)”, a “Uma validação CFD do Fire Dynamics Simulator para incêndios em esquina de compartimento (SHARMAN, PAVAN K.; GERA, B.; SINGH, R. K., 2010)”, a “Validação do Fire Dynamics Simulator (FDS) para fluxos de convecção forçados e naturais (SMARDZ, 2006)”, a “Validação experimental de simulações FDS para concentrações de fumaça e gases tóxicos (RINNE, TUOMO, HIETANIEMI, JUKKA & HOSTIKKA, SIMO, 2007)”, a “Um modelo global do perfil de temperatura do fluxo de gás flutuante sob o teto em um canal com combinação de perda de massa e calor devido à extração de gás pelo teto e fluxo de ar forçado longitudinal (HU et al., 2014)” e “Uma restrição de divergência de velocidade para simulação de grandes redemoinhos de ‘Low-Mach-flows’ (McDERMOTT, 2014)”. Segue a análise de três destes trabalhos científicos de validação do FDS.

Steve Cochard (2003) reproduziu por meio do FDS (Versão 2.0), o ensaio de ventilação em túneis nomeado como “*The memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program* (MTFVTP)” teste “Case 321 A – a 40 MW fire”, com um ponto de suprimento de ventilação forçada no teto do túnel.

A Figura 4.1 mostra o croqui do ensaio real de incêndio no “*Memorial Tunnel*”. As medições experimentais foram realizadas nas posições indicadas na figura por meio de “árvores” de medições nomeadas como “Loop”. A ventilação do túnel foi realizada 2 minutos após a ignição do fogo a uma vazão média de 80 m³/s. A parte norte do túnel foi lacrada de forma a garantir que toda vazão de ar fresco passasse pela região do fogo, conforme indicado na figura 4.1. As temperaturas foram medidas nas posições A (30 cm), B (107 cm), C (283 cm), D (244 cm), E (305 cm), F (351 cm) e G (396 cm), todas em relação a superfície inferior do túnel.

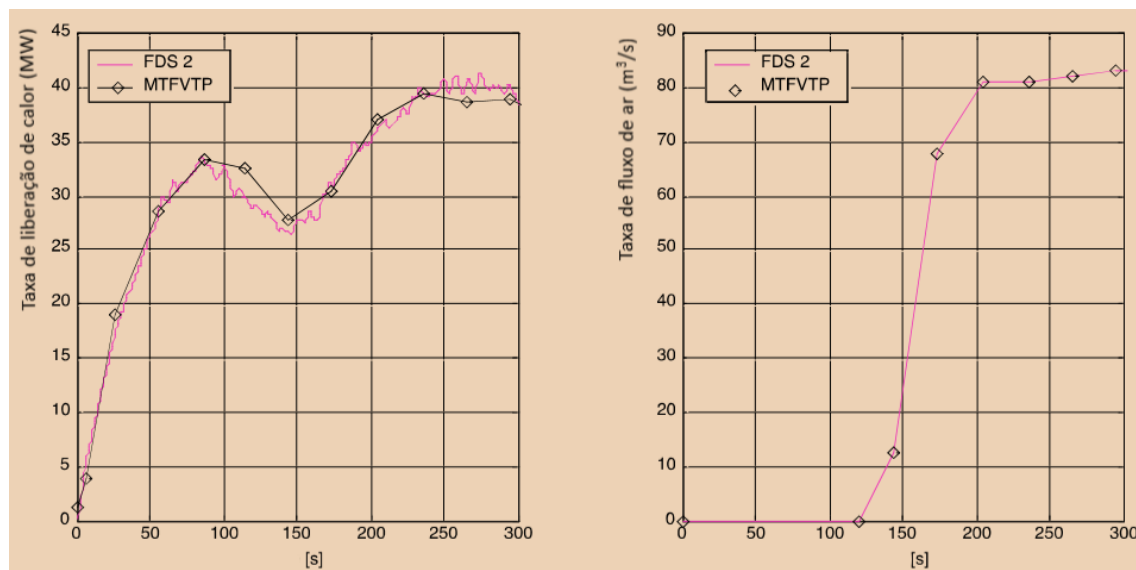
Figura 4.1 - Croqui de ensaio real de incêndio no Memorial Tunnel



Fonte: Cochard (2003)

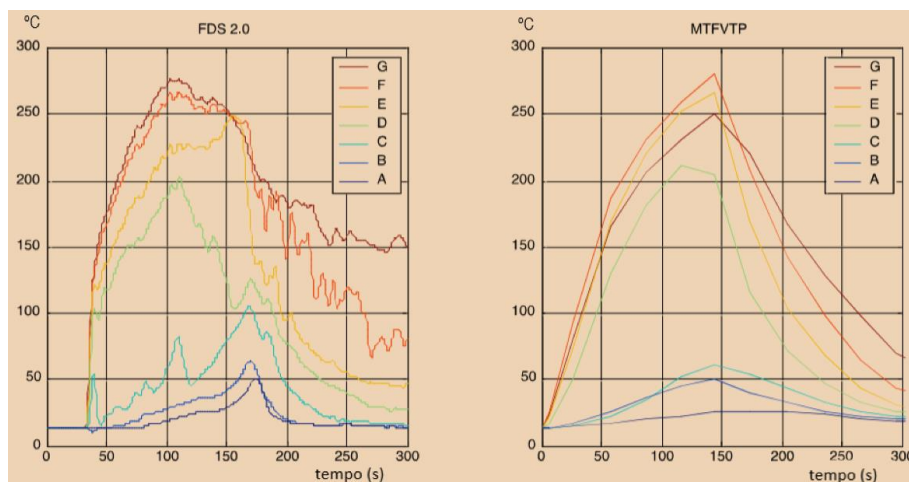
A análise numérica do ensaio foi realizada por meio do FDS, versão 2.0, e os resultados da simulação computacional foram comparados com os resultados medidos no ensaio real de fogo conforme Figuras 4.2 a 4.10.

Figura 4.2 - Taxa de liberação de calor e taxa de fluxo de volume de ar medida no ensaio real de fogo e na simulação de incêndio por meio do FDS



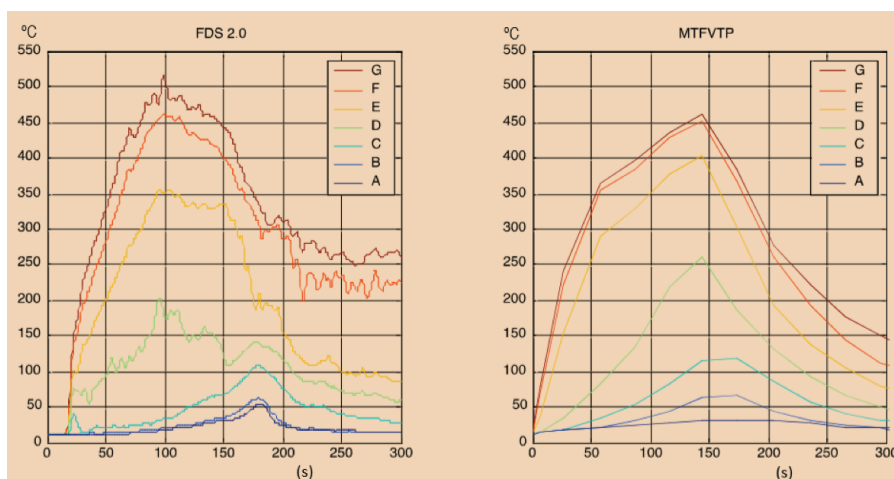
Fonte: Cochard (2003)

Figura 4.3 – Variação da temperatura em função do tempo medida no “Loop 307” a 62 m norte do fogo



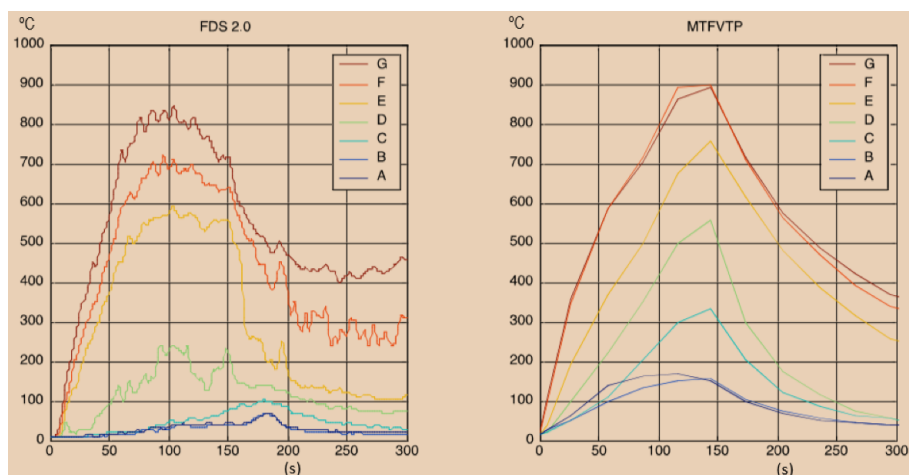
Fonte: Cochard (2003)

Figura 4.4 - Variação da temperatura em função do tempo medida no “Loop 306”, 29 m ao norte do fogo



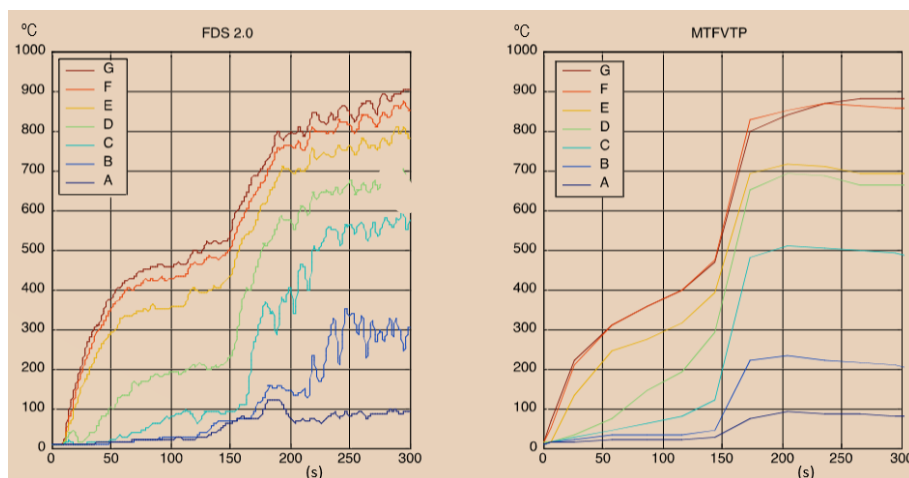
Fonte: Cochard (2003)

Figura 4.5 - Variação da temperatura em função do tempo medida no “Loop 305”, 11 m ao norte do fogo



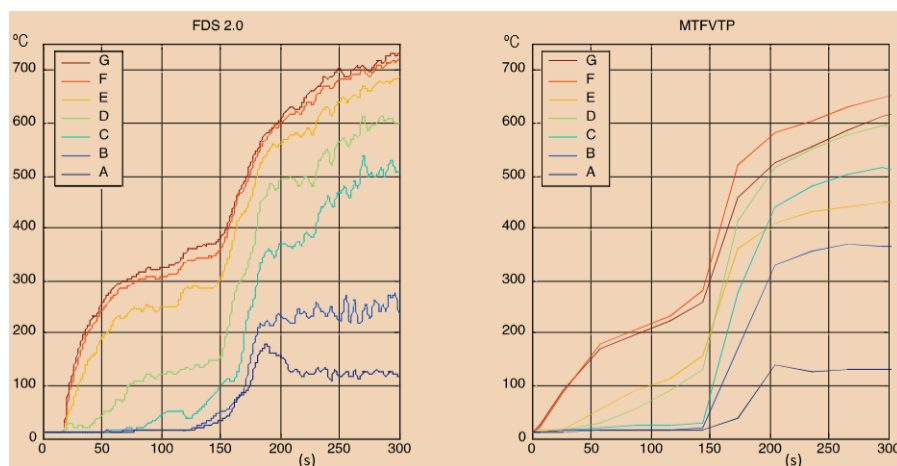
Fonte: Cochard (2003)

Figura 4.6 - Variação da temperatura em função do tempo medida no “Loop 304”, 12 m ao sul do fogo



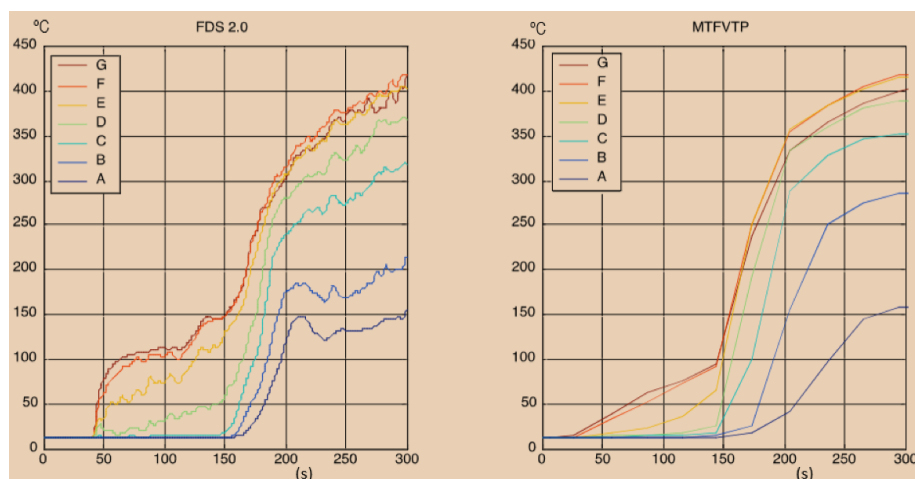
Fonte: Cochard (2003)

Figura 4.7 - Variação da temperatura em função do tempo medida no “Loop 303”, 26 m ao sul do fogo



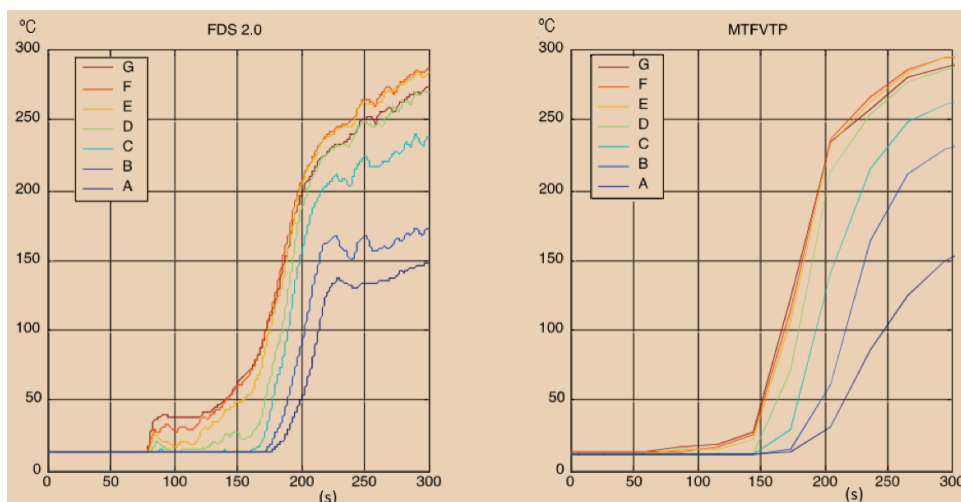
Fonte: Cochard (2003)

Figura 4.8 - Variação da temperatura em função do tempo medida no “Loop 302”, 66 m ao sul do fogo



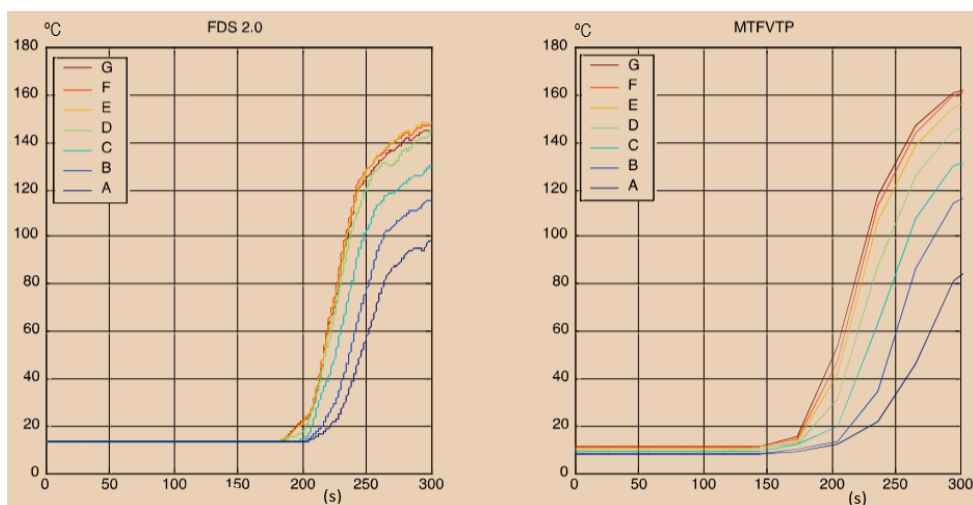
Fonte: Cochard (2003)

Figura 4.9 - Variação da temperatura em função do tempo medida no “Loop 301”, 107 m ao sul do fogo



Fonte: Cochard (2003)

Figura 4.10 - Variação da temperatura em função do tempo medida no “Loop 202”, 237 m ao sul do fogo



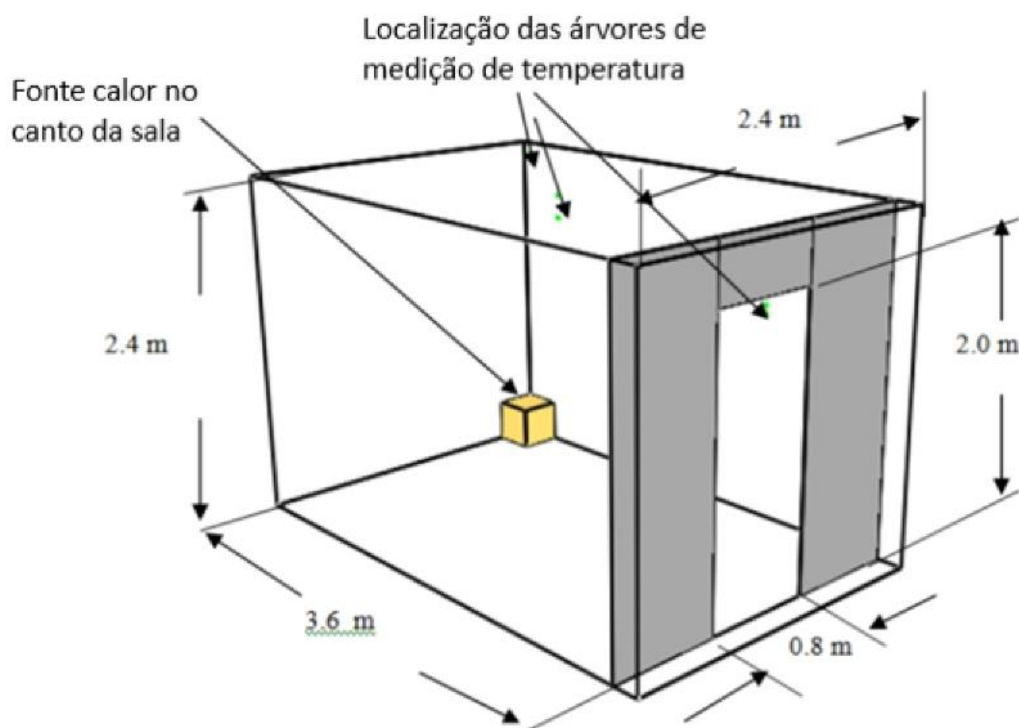
Fonte: Cochard (2003)

Como mostram as Figuras 4.2 a 4.10, Cochard (2003) concluiu que o ‘Fire Dynamics Simulator 2.0 (FDS2) reproduziu satisfatoriamente o experimento real de incêndio do “*memorial tunnel*” e é adequado para prever tais incêndios. Segundo ele o FDS não apenas prediz bem o fenômeno geral, como também fornece estimativas valiosas da temperatura.

Sharma et al. (2010), com o objetivo de validação do “Fire Dynamics Simulator”, reproduziu um experimento natural de incêndio em compartimento, no qual a fonte de fogo localizava-se

em um canto da sala, por meio desta ferramenta de simulação computacional. A Figura 4.11 mostra o leiaute utilizado no ensaio experimental.

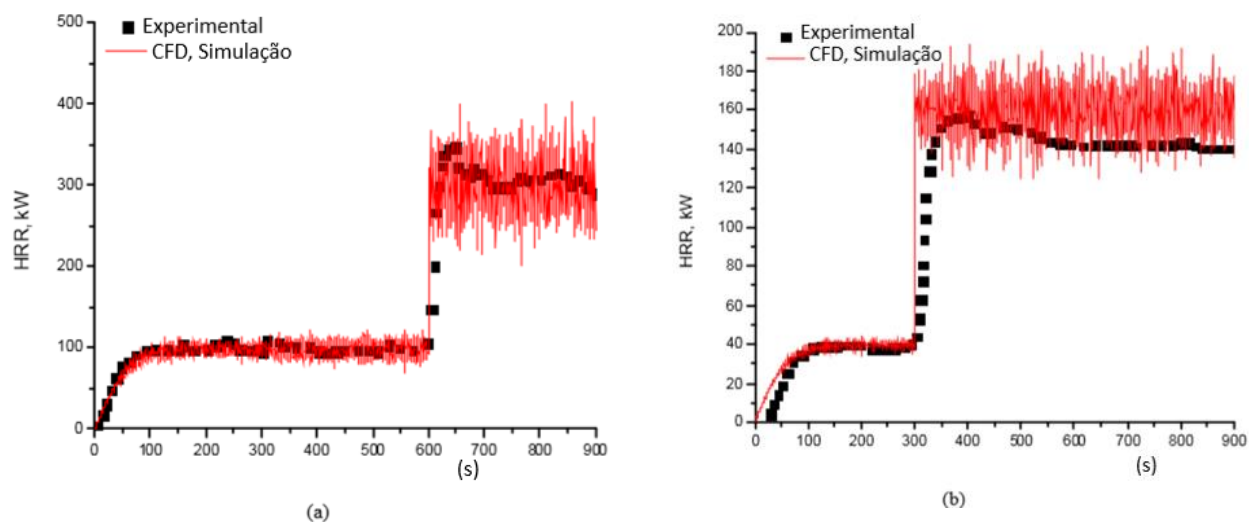
Figura 4.11 – Geometria do compartimento com fonte de calor no canto



Fonte: Sharma et al. (2010)

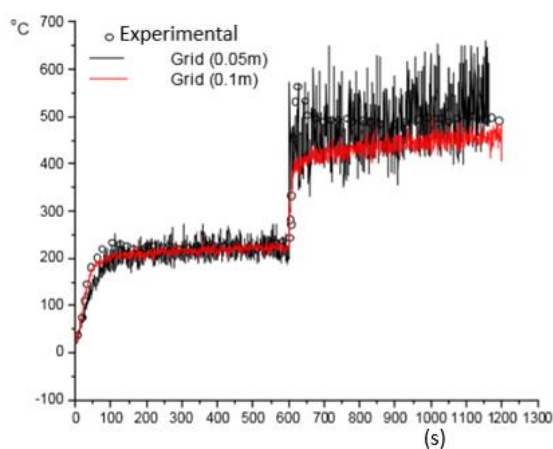
O experimento de incêndio foi realizado no interior do compartimento com duas configurações para a fonte de calor. Na configuração “A”, a fonte localizada em um dos cantos da sala, gerou uma taxa de liberação de calor na razão de 100 kW nos primeiros 10 minutos. Após essa etapa, a taxa evoluiu para 300 kW e manteve-se assim por mais 10 minutos. Na configuração “B”, o suplemento de metano instalado na fonte de calor produziu energia na taxa de 40 kW por 5 minutos e cresceu para 160kW durante os 10 minutos finais do ensaio. A geometria do compartimento, posição das árvores de medição, taxa de liberação de calor, bem como as demais condições do ensaio foram reproduzidas por Sharma et al. (2010) por meio ferramenta de simulação computacional Fire Dynamics Simulator (FDS). Os resultados das simulações numéricas encontram-se nas Figuras 4.12 a 4.18.

Figura 4.12 - Taxa de Liberação de calor no ensaio de incêndio e no FDS para as configurações “A” (a) e “B” (b)



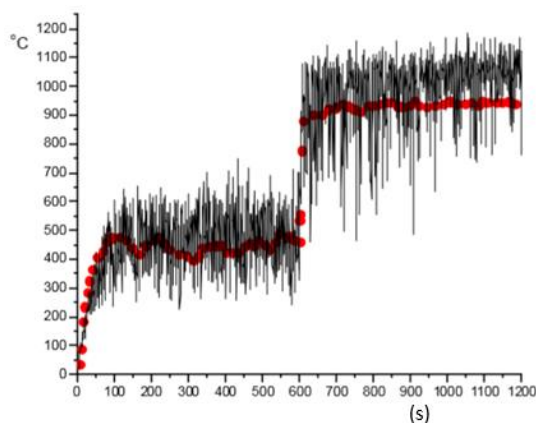
Fonte: Sharma et al. (2010)

Figura 4.13 - Temperatura do gás medida a 0,05 m abaixo do centro do teto, caso “A”



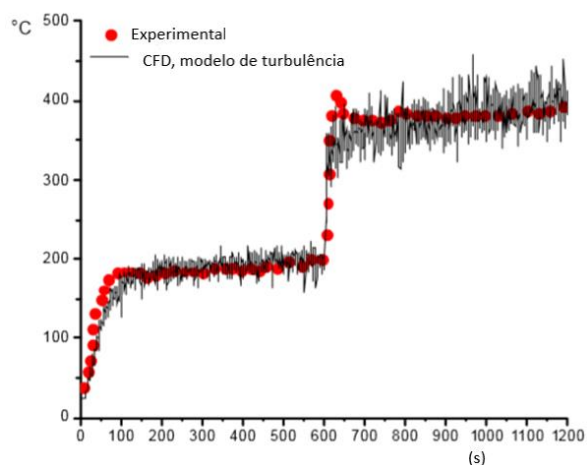
Fonte: Sharma et al. (2010)

Figura 4.14 - Temperatura do gás medida acima da fonte e 0,05 m abaixo do teto, caso “A”



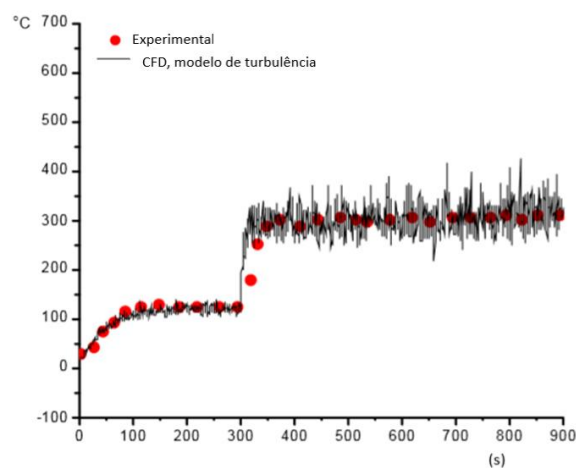
Fonte: Sharma et al. (2010)

Figura 4.15 - Temperatura do gás a 0,1 m do topo da porta para o caso “A”



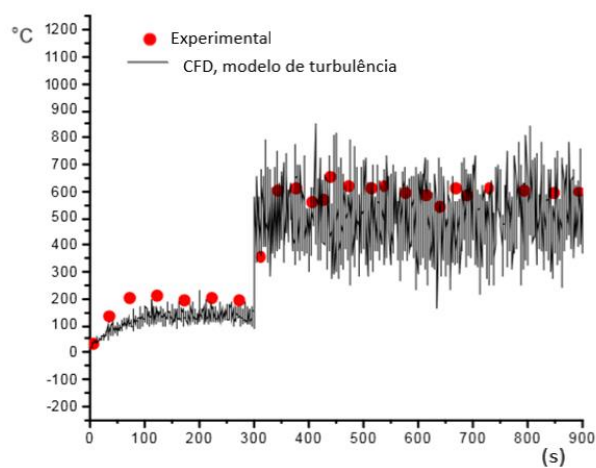
Fonte: Sharma et al. (2010)

Figura 4.16 - Temperatura do gás medida a 0,05 m abaixo no centro do teto, caso “B”



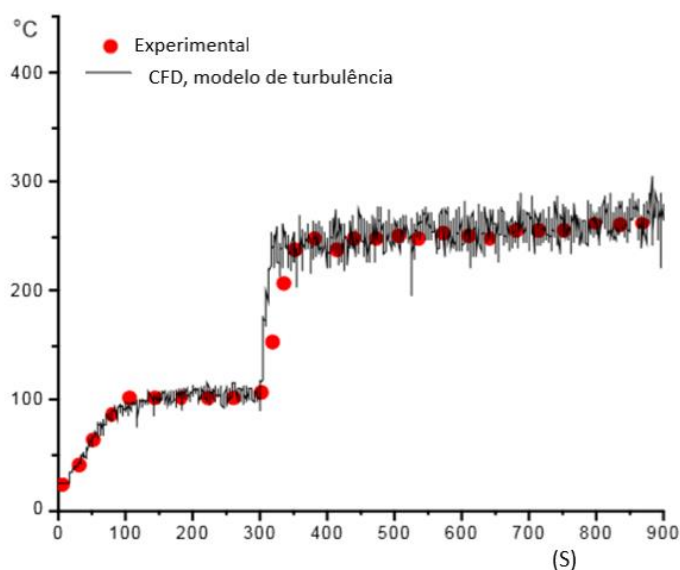
Fonte: Sharma et al. (2010)

Figura 4.17 - Temperatura do gás medida acima da fonte e 0,05 m do teto, caso “B”



Fonte: Sharma et al. (2010)

Figura 4.18 - Temperatura do gás a 0,1 m do topo da porta para o caso “B”

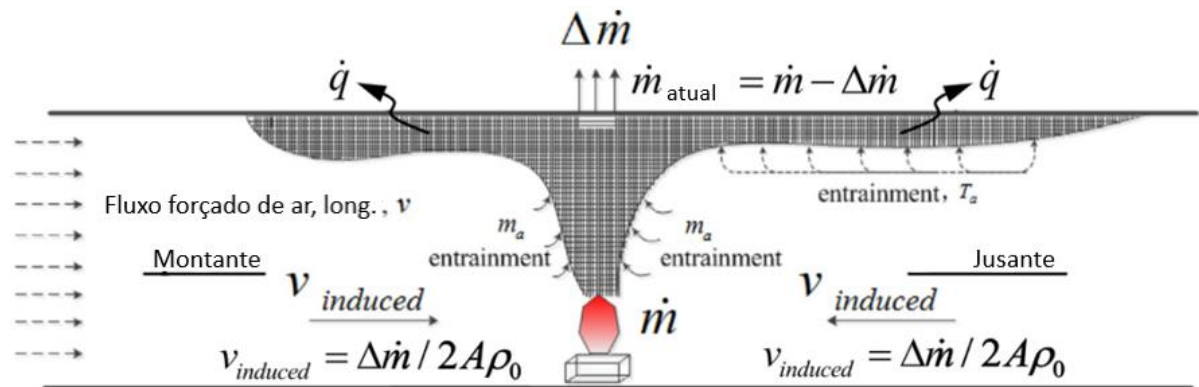


Fonte: Sharma et al. (2010)

Como mostrado nas Figuras 4.12 a 4.18, Sharma et al. (2010) verificaram que os resultados obtidos por meio do FDS convergiram para os valores medidos experimentalmente e a simulação conseguiu reproduzir com boa aproximação o ensaio de incêndio.

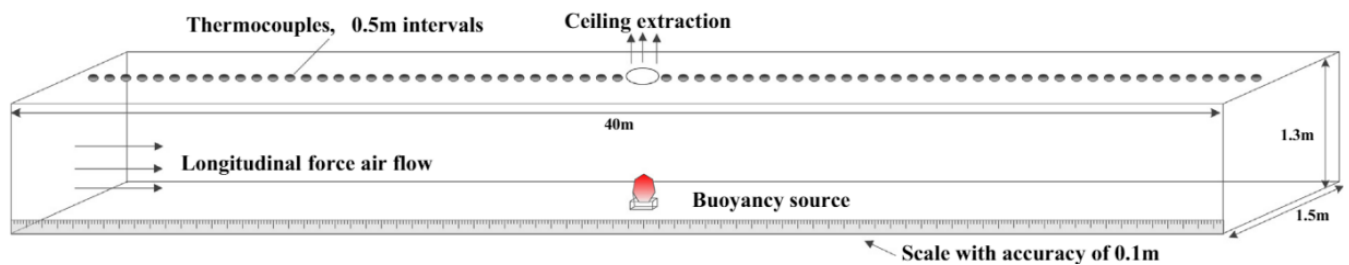
L.H. Hu et al. (2014) realizaram experimento para verificar o comportamento do incêndio em um ambiente compartimentado, no qual a extração de fumaça e a ventilação pudesse ser controlada durante o ensaio. A figura 4.19 mostra o modelo simplificado para a deterioração da temperatura do fluxo de gás, com a combinação de perda de massa e calor devido à extração de fumaça pelo teto, com fluxo de ar longitudinal horizontal forçado. A figura 4.20 mostra o modelo para a simulação numérica do ensaio experimental por meio do Fire Dynamic Simulator.

Figura 4.19 - Modelo físico teórico simplificado de deterioração da temperatura do fluxo de gás



Fonte: L.H. Hu et al. (2014)

Figura 4.20 – Modelo da análise numérico do experimento



Fonte: L.H. Hu et al. (2014)

Tabela 4.1 - Resumo das condições de contorno da análise numérica do experimento

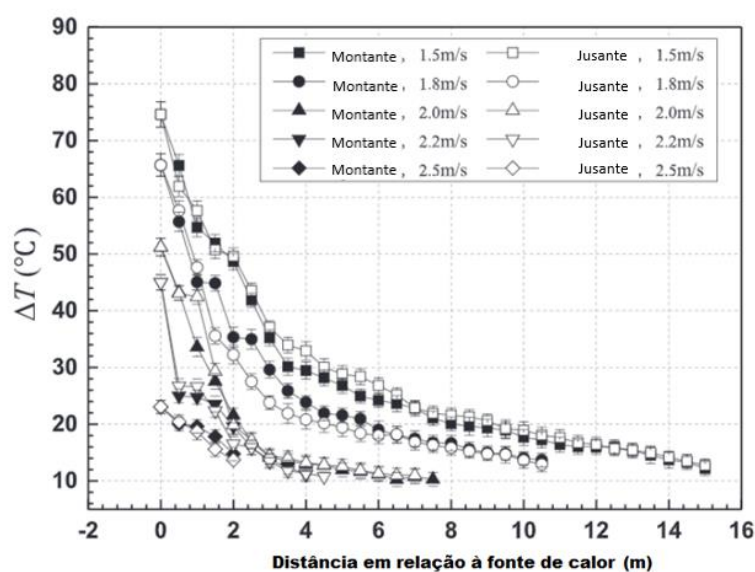
Test No.	Longitudinal forced air flow velocity (m/s)	Ceiling extraction velocity (m/s)	Heat release rate (kW)				
1-5	0	1.5	40	50	60	70	80
6-10		1.8	40	50	60	70	80
11-15		2.0	40	50	60	70	80
16-20		2.2	40	50	60	70	80
21-25		2.5	40	50	60	70	80
26-30	0.3	2.2	40	50	60	70	80
31-35	0.5		40	50	60	70	80
36-40	0.8		40	50	60	70	80
41-45	1.0		40	50	60	70	80
46-50	1.2		40	50	60	70	80

Fonte: L.H. Hu et al. (2014)

As dimensões adotadas para o túnel foram 72 m x 1,5 m x 1,3 m e para fonte de calor 0,3 m x 0,3 m x 0,1 m. A fonte de calor foi alimentada por meio do uso de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), a ventilação horizontal foi controlada por um ventilador com 0,3 m de diâmetro com velocidade variável de acordo com os valores 0,3 m/s, 0,5 m/s, 0,8 m/s, 1,0 m/s e 1,2 m/s. A extração de fumaça pelo teto do túnel providenciada por meio de um extrator com velocidade de fluxo variável de 1,5 m/s, 1,8 m/s, 2,0 m/s, 2,2

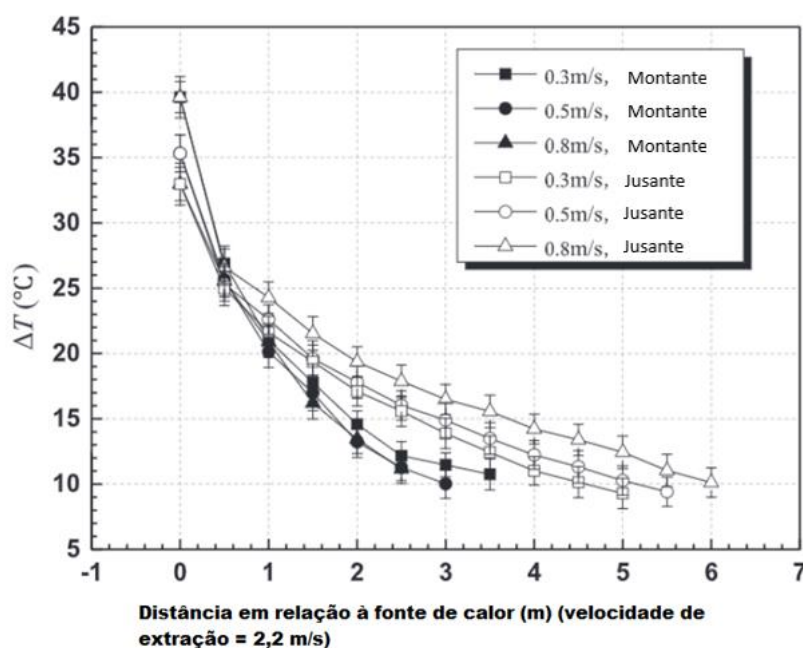
m/s e 2,5 m/s. As Figuras 4.21, 4.22, 4.23 e 4.24 mostram os resultados obtidos para as temperaturas medidas ao longo do túnel de ensaio para duas configurações. As Figuras 4.21 e 4.22 mostram os valores obtidos no experimento de incêndio e as Figuras 4.23 e 4.24 realizam a comparação dos valores de temperatura medidas na simulação computacional do FDS com os valores do ensaio experimental.

Figura 4.21 - Temperatura medida ao longo do teto do túnel durante o ensaio com extração de fumaça



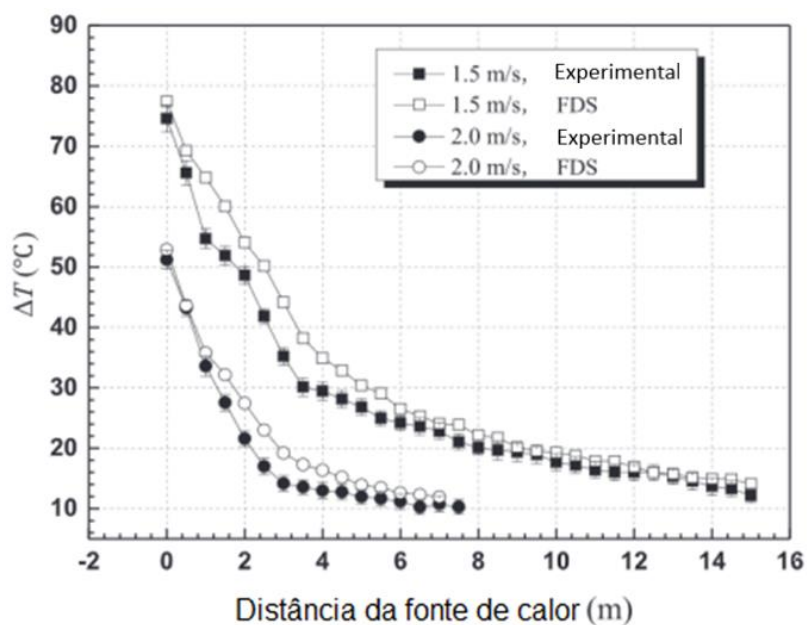
Fonte: L.H. Hu et al. (2014)

Figura 4.22 - Temperatura medida ao longo do teto do túnel durante o ensaio com efeito com efeito combinado da extração de fumaça e ventilação horizontal forçada

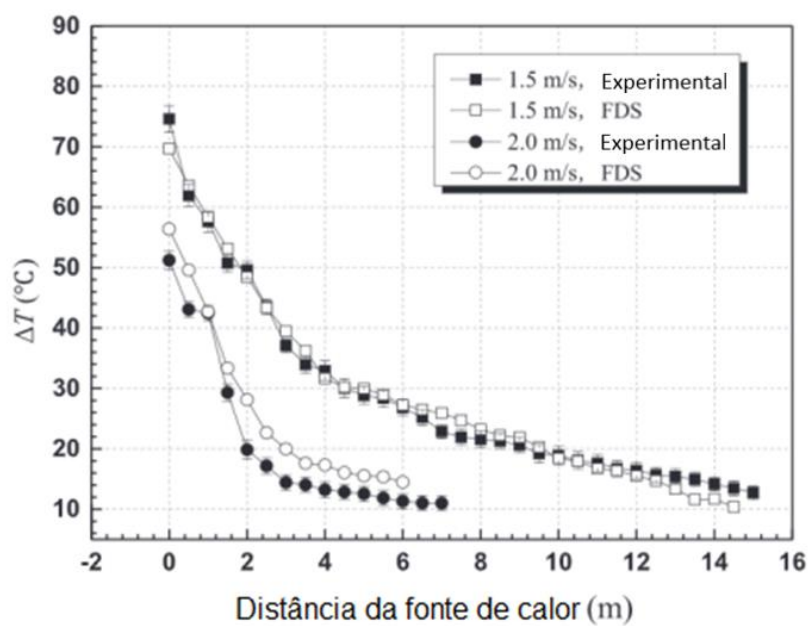


Fonte: L.H. Hu et al. (2014)

Figura 4.23 - Variação da temperatura em relação à distância da fonte de calor por meio do FDS e ensaio experimental na configuração de extração de fumaça.



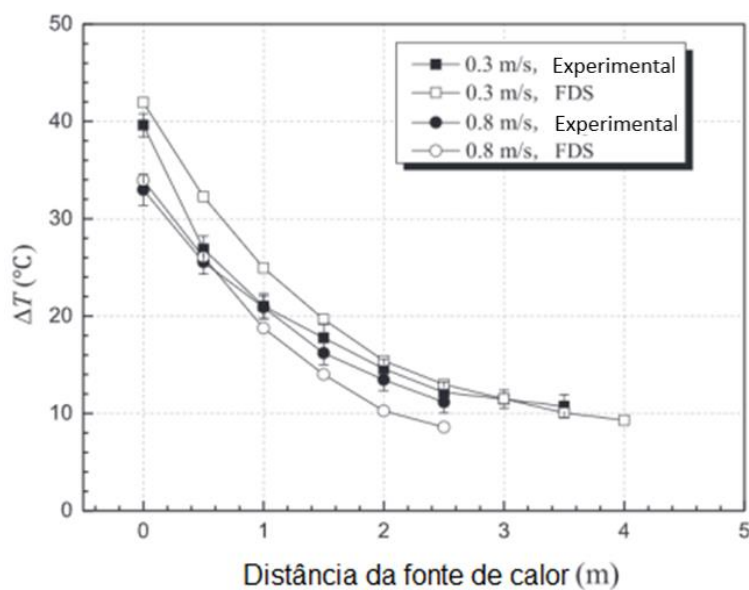
(a) Montante



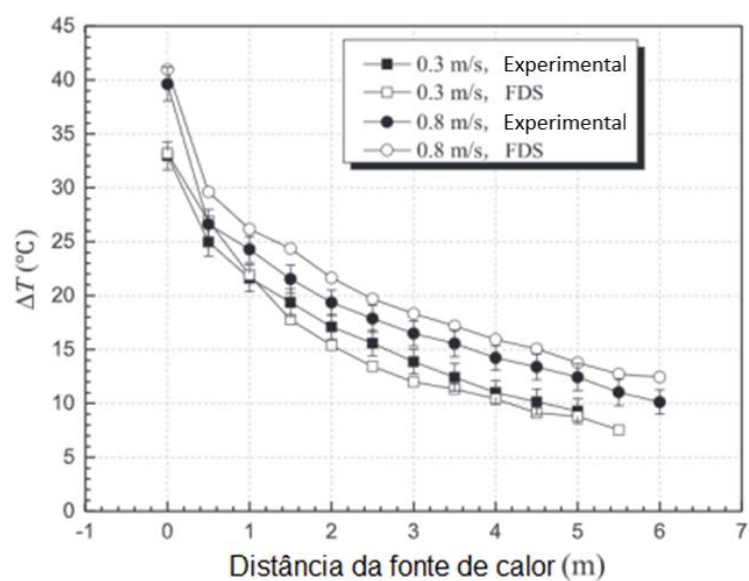
(b) Jusante

Fonte: L.H. Hu et al. (2014)

Figura 4.24 - Variação da temperatura em relação à distância da fonte de calor por meio do FDS e ensaio experimental na configuração de extração de fumaça ($V = 2,2 \text{ m/s}$) e ventilação horizontal forçada (60 kW)



(a) Montante



(b) Jusante

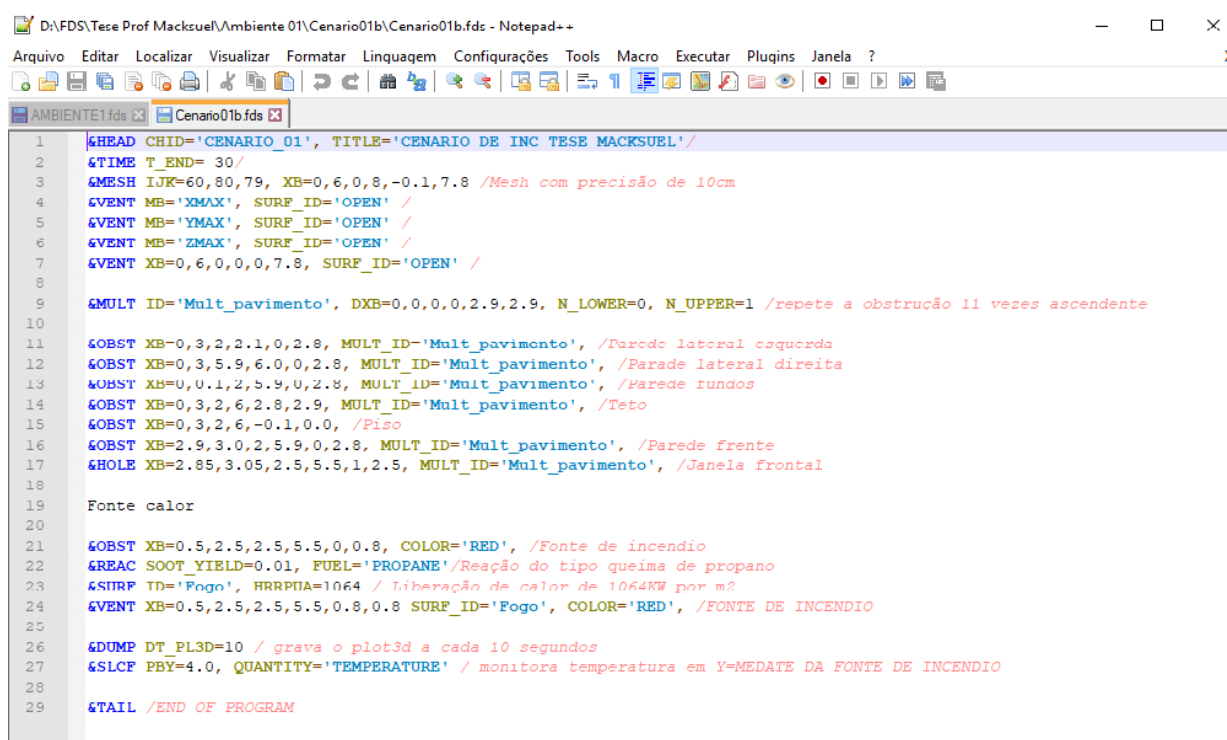
Fonte: L.H. Hu et al. (2014)

L.H. Hu et al. (2014) concluiu que, apesar da pequena variação dos valores medidos experimentalmente em relação à simulação computacional, os resultados obtidos são convergentes e a ferramenta de CFD (Fire Dynamics Simulator) conseguiu reproduzir o ensaio de incêndio realizado no interior do túnel.

4.2. CONFIGURAÇÃO DE ENTRADA E DADOS DE SAÍDA DO FDS

Os dados de entrada do FDS devem conter informações tais como modelo, domínio, malha, tempo de simulação, condições de contorno, propriedades dos materiais, condições de combustão, taxa de liberação de calor dos combustíveis e tipo e modo de apresentação dos resultados gerados (CUNHA, 2016). A interface de entrada do FDS é realizada por meio de um arquivo de texto executado no MS DOS na “comando window”. A Figura 4.25 mostra um exemplo de arquivo de texto executável pelo FDS.

Figura 4.25 - Arquivo de texto executável pelo FDS



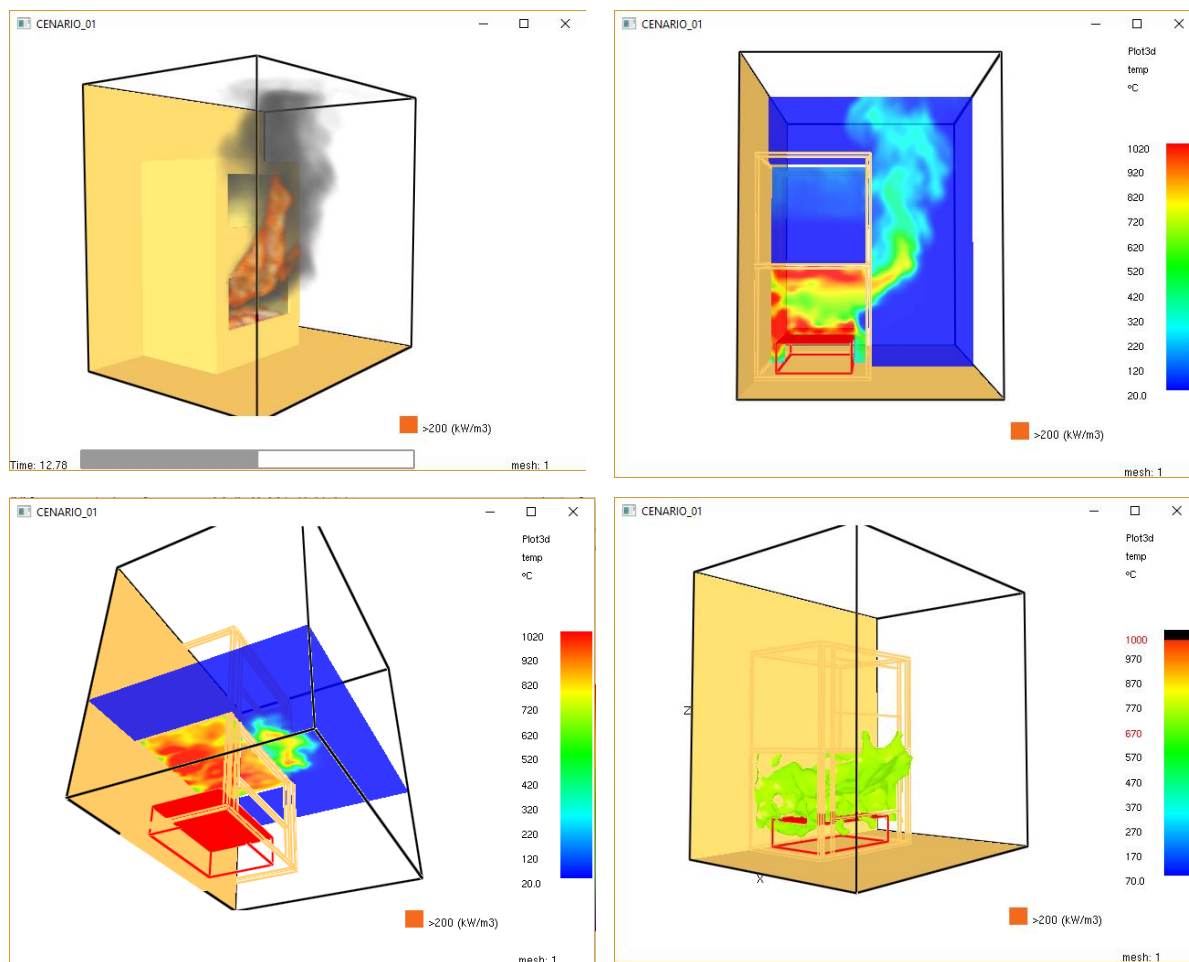
```

1  &HEAD CHID='CENARIO_01', TITLE='CENARIO DE INC TESE MACKSUEL'/
2  &TIME T_END= 30/
3  &MESH IJK=60,80,79, XB=0,6,0,8,-0.1,7.8 /Mesh com precisão de 10cm
4  &VENT MB='XMAX', SURF_ID='OPEN' /
5  &VENT MB='YMAX', SURF_ID='OPEN' /
6  &VENT MB='ZMAX', SURF_ID='OPEN' /
7  &VENT XB=0,6,0,0,0,7.8, SURF_ID='OPEN' /
8
9  &MULT ID='Mult_pavimento', DXB=0,0,0,0,2.9,2.9, N_LOWER=0, N_UPPER=1 /repete a obstrução 11 vezes ascendente
10
11 &OBST XB=0,3,2,2.1,0,2.8, MULT_ID='Mult_pavimento', /Parade lateral esquerda
12 &OBST XB=0,3,5.9,6.0,0,2.8, MULT_ID='Mult_pavimento', /Parade lateral direita
13 &OBST XH=0,0.1,2,5.9,0,2.8, MULT_ID='Mult_pavimento', /Parade fundos
14 &OBST XB=0,3,2,6,2.8,2.9, MULT_ID='Mult_pavimento', /Teto
15 &OBST XB=0,3,2,6,-0.1,0.0, /Piso
16 &OBST XB=2.9,3.0,2,5.9,0,2.8, MULT_ID='Mult_pavimento', /Parade frente
17 &HOLE XB=2.85,3.05,2.5,5.5,1,2.5, MULT_ID='Mult_pavimento', /Janela frontal
18
19 Fonte calor
20
21 &OBST XB=0.5,2.5,2.5,5.5,0,0.8, COLOR='RED', /Fonte de incendio
22 &REAC SOOT_YIELD=0.01, FUEL='PROPANE'/Reação do tipo queima de propano
23 &SURF ID='Fogo', HRRPUA=1064 / Liberação de calor de 1064KW por m2
24 &VENT XB=0.5,2.5,2.5,5.5,0.8,0.8 SURF_ID='Fogo', COLOR='RED', /FONTE DE INCENDIO
25
26 &DUMP DT_PL3D=10 / grava o plot3d a cada 10 segundos
27 &SLCF PBY=4.0, QUANTITY='TEMPERATURE' / monitorea temperatura em Y=MEDATE DA FONTE DE INCENDIO
28
29 &TAIL /END OF PROGRAM
  
```

Fonte: Autor

Os dados de saída obtidos por meio do FDS são gerados em formatos distintos, tabulados e, com visualização gráfica produzida por meio do software “Smokeview”, incluído no pacote de instalação do FDS. A Figura 4.26 mostra um exemplo dos dados gerados pelo Smokeview.

Figura 4.26 - Imagens geradas pelo Smokeview



Fonte: Autor

A Simulação computacional de incêndio é muito empregada como ferramenta de investigação a fim de reproduzir as condições de um incêndio pregresso e verificar as hipóteses de sua causa. No entanto, o que se propõe nesse trabalho é verificar os efeitos e o comportamento de um incêndio que ainda não ocorreu e, por meio da simulação numérica, confirmar se as regras de compartimentação horizontal em vigor são suficientes para conter a propagação horizontal do fogo.

4.2.1. Mecânica dos Fluidos Computacional (CFD)

O uso de técnicas numéricas para solução de problemas complexos da engenharia e da física é uma realidade. O engenheiro ou projetista tem a sua disposição três ferramentas para desenvolver seu projeto ou analisar seu problema: os métodos analíticos; os métodos numéricos e a experimentação em laboratório (MALISKA, 2014). Os métodos analíticos e os métodos numéricos formam a base dos métodos

teóricos, pois ambos buscam resolver as equações diferenciais que formam o modelo matemático. A principal diferença entre eles está relacionada ao nível de complexidade das equações que conseguem solucionar. O método analítico, muitas vezes é refém das simplificações necessárias para solução das equações e são aplicáveis, normalmente, a geometrias triviais e condições de contorno simples. Quanto às experimentações de laboratório, apesar da vantagem do fato de se tratar da configuração real, possuem elevado custo e muitas vezes não podem ser executadas por motivo de segurança. Por esses motivos, somado ao fato do rápido crescimento da capacidade computacional, a mecânica dos fluidos computacional (CFD) se tornou uma opção viável, de baixo custo, para solução de problemas de engenharia e pesquisa.

O FDS é uma ferramenta de mecânica dos fluidos computacional construída por meio do método de volumes finitos (MVF), e escolhida para as simulações de ambientes de incêndio. O incêndio é um fenômeno de mecânica dos fluidos com condições de contorno complexas e cuja experimentação laboratorial é de alto custo e de risco elevado para a segurança do ensaio. De acordo com Maliska (2014), na ausência de modelos matemáticos estabelecidos e em geometrias extremamente complexas, o CFD é a única alternativa disponível e viável.

No entanto, métodos numéricos demandam validação numérica e validação física.

Existem dois níveis de erros que podem estar presentes na solução numérica quando os resultados são comparados com a realidade de um problema físico: no primeiro nível estão os erros numéricos propriamente ditos, resultado da má solução das equações diferenciais (objeto da validação numérica). [...] No segundo nível estão os erros resultantes do uso de equações diferenciais que não representam adequadamente o fenômeno (objeto da validação física). [...] Logo, a ferramenta numérica é adequada e confiável quando se está de posse de um método numérico que resolva corretamente as equações diferenciais, e de um modelo matemático que represente com fidelidade o fenômeno físico. (MALISKA, 2014).

4.2.2. Condições de contorno

Para resolver o sistema de equações diferenciais parciais (continuidade, momento, energia e transportes), as condições de contorno nas superfícies que delimitam o domínio e os objetos devem ser claramente definidos. Uma simulação de incêndio envolve: a descrição das fases do incêndio (ignição, desenvolvimento, desenvolvimento completo e decaimento); o comportamento da chama e de seus produtos e; a iteração desses com as variáveis ambientais e com os sistemas de proteção (CUNHA, 2016).

Portanto, de acordo com Andrade (2018), as principais condições de contorno para simulação no FDS são: temperatura, radiação, fração mássica, densidade, velocidade, vãos livres (para a equação de Poisson), objetos sólidos, malhas e interfaces entre malhas.

4.2.3. Definições da malha

O sucesso de uma simulação em CFD está diretamente ligado à correta definição da malha. Malhas espaçadas não são capazes de interpretar adequadamente os elementos contidos no domínio, ignorando aqueles cujas dimensões são significativamente inferiores ao tamanho do elemento. Por outro lado, malhas densas aumentam consideravelmente a quantidade de cálculos a serem realizados, impactando diretamente no tempo de processamento e na estabilidade numérica. A malha pode ser considerada refinada quando assume a maior dimensão possível, permitindo que os resultados se estabilizem dentro de um tempo razoável (CUNHA, 2016).

Devido ao fato de a simulação reproduzir a arquitetura das edificações e os limites físicos dos ambientes serem condições de contorno, convém utilizar a malha que permita representar as dimensões dos obstáculos que delimitam esses ambientes. O elemento utilizado pelo FDS na construção de sua malha é composto de três dimensões representado por um paralelepípedo (Δx , Δy e Δz). Sendo assim, para refinar a malha basta definir as dimensões Δx , Δy e Δz do elemento e a escolha tem que ser tal que o tempo de processamento não seja muito elevado (custo computacional).

Malhas com alto grau de refinamento demandam elevado tempo de processamento computacional.

O FDS também permite o uso de malhas com grau de refinamento diferente desde que as dimensões das malhas sejam múltiplas entre si. Sendo assim, dependendo da arquitetura pode-se utilizar malhas com refinamento diferentes para ambientes vizinhos a fim de reduzir o tempo de processamento durante a simulação.

Usualmente as simulações numéricas são iniciadas com malhas espaçadas, que são reduzidas a cada nova simulação até que os resultados convirjam (MCGRATTAN et al., 2017). Em ambientes típicos de edificações, células com dimensões de 10 cm apresentam resultados satisfatórios.

5. METODOLOGIA

A respeito da definição de método, Lucena (2011) expõe que:

O método pode ser definido como o conjunto de recursos da pesquisa nos quais se inserem as técnicas, as construções lógicas, a linguagem etc., que visam estabelecer proposições, com maior ou menor grau de confiabilidade, acerca de determinada realidade, cuja construção deve ser gradativa e ausente de lacunas de sentido. O tipo de método a ser utilizado, portanto, deve ser adequado ao objeto estudado. (LUCENA, 2011, p. 21 -22).

A formulação geral do método hipotético-dedutivo consiste em “buscar a verdade eliminando tudo o que é falso” (PORANTIM, 2013, p. 1). Essa prerrogativa é de elevado custo para a pesquisa e demanda a execução de uma quantidade incalculável de ensaios inviabilizando o estudo. Outrossim, não se objetiva estabelecer uma ‘verdade’ sobre afastamentos entre aberturas adjacentes de áreas vizinhas compartimentadas, mas verificar a efetividade das regras prescritivas em vigor.

De acordo com Cunha (2016) a pesquisa pode ser executada mediante um método que permita a investigação da hipótese por meio de procedimentos práticos. Do ponto de vista do método, a pesquisa pode apresentar a mesma lógica de um estudo experimental, que é a investigação de uma hipótese mediante a análise dos resultados obtidos em ensaios realizados a partir de modelos representativos do objeto do estudo. Isso é perfeitamente adequável a utilização de simulação computacional como instrumento para testar a hipótese.

Nesse trabalho, foram realizadas simulações computacionais numéricas de ambientes de incêndio por meio do programa computacional “Fire Dynamic Simulator” (NIST, 2017) que reproduziu ambientes de incêndio variando sua arquitetura, tipo de materiais combustíveis, disposição dos materiais, carga de incêndio, taxa de liberação de calor e velocidade de consumo dos materiais combustíveis.

A escolha da amostra para o estudo de caso foi realizada por meio de visita de campo, a fim de verificar as reais condições de compartimentação horizontal existentes na distribuição das lojas comerciais localizadas na avenida central de Laranjeiras, na Serra. A análise foi realizada de forma qualitativa, observando qual seria a pior condição existente no diz respeito à propagação horizontal de incêndio, na avenida

central de Laranjeiras. Desta forma, foram obtidas as condições de contorno para a simulação, tais como a arquitetura das lojas escolhidas, a compartimentação horizontal existente, a carga de incêndio e sua distribuição no interior das lojas.

Para verificar a eficácia da ferramenta de CFD, foi realizada pesquisa documental de pesquisas científicas de validação do FDS realizadas ao longo do tempo.

As simulações por meio do FDS foram realizadas em três etapas: simulação e verificação das condições de compartimentação horizontal para aberturas adjacentes em edificações térreas e vizinhas prevista na IT 09 CBPMESP/2018; simulação e verificação das condições de compartimentação horizontal entre duas edificação frontais verticalizadas prevista na IT 09 CBPMESP/2018 e; verificação da compartimentação horizontal em um estudo de caso por meio da simulação numérica de incêndio entre duas lojas comerciais localizadas na avenida central de Laranjeiras.

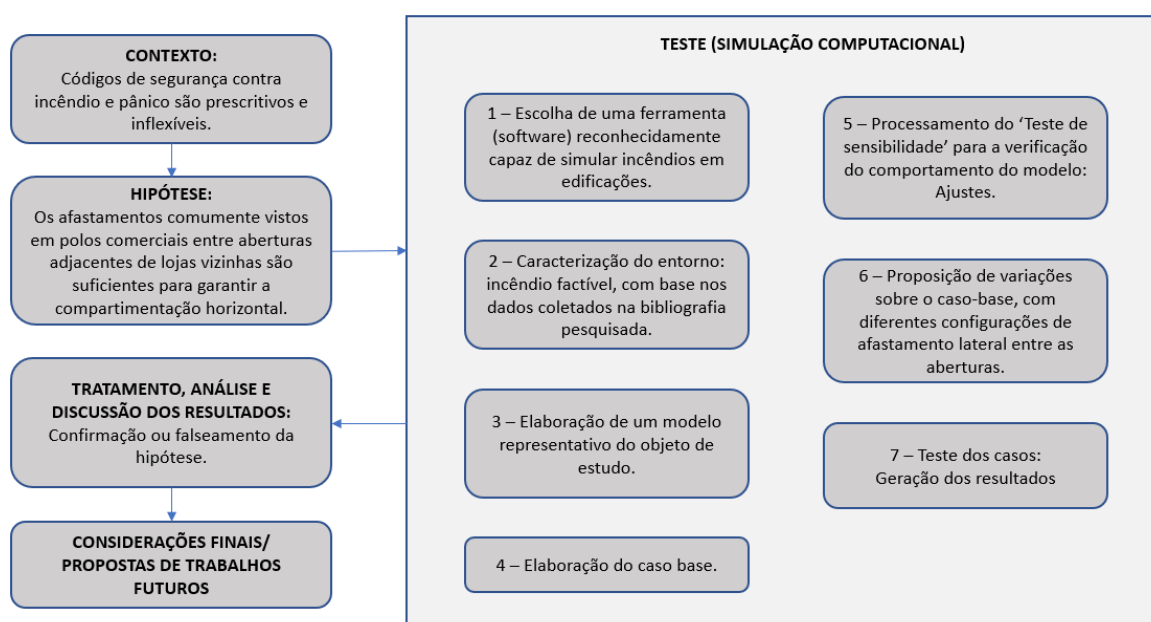
5.1. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

Conforme mostra a Figura 5.1, a presente pesquisa é estruturada pelas etapas:

- a) Contexto: A legislação de ocupação do solo é competência do poder público municipal que não considera as prescrições referentes a compartimentação horizontal a ser respeitada por edificações vizinhas;
- b) Problema: O afastamento lateral entre aberturas de lojas no polo comercial de Laranjeiras não respeita as distâncias mínimas previstas para edificações vizinhas (áreas de compartimentação), no que diz respeito às regras de compartimentação horizontal;
- c) Hipótese: Os afastamentos entre aberturas adjacentes de lojas vizinhas em polos comerciais varejistas são suficientes para garantir a compartimentação horizontal e impedir a propagação de incêndio.
- d) Teste: avaliar se os afastamentos existentes entre aberturas adjacentes de áreas de compartimentação vizinhas em polos comerciais são suficientes como regra de compartimentação horizontal;

e) Ferramenta: o programa computacional Fire Dynamics Simulator (NIST, 2017), referenciado na bibliografia como uma ferramenta adequada na simulação de incêndio em edificações e computador com processador Intel® Core™ i7-7700 CPU @ 3.60 GHz 3.6 GHz, memória RAM de 16 GB e sistema operacional 64 bits, processador com base x64.

Figura 5.1 Fluxograma da aplicação do método empregado no presente trabalho



Fonte: Autor

5.2. SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

As simulações numéricas foram realizadas em etapas com a finalidade de organizar o tempo destinado a coleta de dados e posterior parametrização:

- Etapa 1 – Condições de contorno

Definir as condições de contorno demandadas pelo software para simulação computacional tais como uso/ocupação, carga de incêndio, taxa de liberação de calor, arquitetura dos compartimentos, tamanho da malha, afastamentos entre aberturas adjacentes, dentre outros;

- Etapa 2 – Ambientes hipotéticos prescritos em norma para compartimentação horizontal

Reproduzir por meio do FDS o ambiente hipotético previsto em norma e verificar se as condições mínimas prevista na norma são suficientes para evitar a propagação horizontal de incêndio;

- Etapa 3 - Visita de campo

Realizar visita de campo para obtenção dos dados sobre a arquitetura e distribuição das lojas no polo comercial da avenida central de Laranjeiras e definir os parâmetros e arquitetura da amostra para simulação;

- Etapa 4 – Simulação de incêndio da amostra

Por meio do FDS simular os ambientes de incêndio da amostra e verificar se a condição real de compartimentação horizontal é suficiente para evitar a propagação de incêndio.

- Etapa 5 – Análise e discussão dos resultados das simulações

Com os resultados obtidos por meio da simulação numérica, executar a análise do comportamento do incêndio com base na referencial bibliográfico.

- Etapa 6 - Conclusão

Apresentar as conclusões.

6. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Para realização das simulações computacionais, as características dos materiais e o processo de queima precisam ser devidamente refinados. Essas condições de contorno devem ser bem definidas tendo por base ensaios parametrizados. Andrade (2018) utilizou o trabalho de Rinne et al. (2006) e os tutoriais fornecidos pela *Thunderhead Engineering Consultants* (2014a, 2014b, 2014c) para caracterizar o material combustível utilizado em simulações de incêndio computacionais, bem como as condições de contorno para combustão e taxa de liberação de energia. A Tabela 6.1 mostra as características da madeira como material combustível.

Tabela 6.1 - Caracterização da madeira utilizada nas simulações computacionais

Caracterização da Madeira	
Densidade [kg/m ³]	369,6
Átomos de Carbono (Composição)	3,4
Átomos de Hidrogênio (Composição)	6,2
Átomos de Oxigênio (Composição)	2,5
Índice de produção de Fuligem	0,015
Calor Específico [kJ/(kg.K)]	1,36
Condutividade [W/(m.K)]	0,13
Emissividade	0,9
Coeficiente de absorção [1/m]	5,0x10 ⁴
Potencial calorífico [kJ/kg]	1,79x10 ⁴
Taxa de Liberação de Calor (HRR) [kW/m ²]	175

Fonte: Andrade (2018)

A caracterização da madeira fornece dados imprescindíveis para reprodução dos incêndios e garantem a validade dos resultados obtidos e sua análise, uma vez que ela foi utilizada para reproduzir a carga de incêndio dos ensaios de todos as simulações computacionais deste estudo por meio da metodologia conhecida como “equivalente em madeira”, ou seja, nos ambientes de incêndio foi distribuído uma quantidade finita de madeira com potencial calorífico e taxa de liberação de calor conhecidos para reproduzir a mesma quantidade de energia estipulada para cada simulação das ocupações da tabela 6.3. Dessa forma, baseado nos valores obtidos por Andrade (2018), foi utilizado a reação de combustão da madeira com HRR = 175

kW/m² e combustão espontânea a partir de 384°C em todas as simulações computacionais numéricas de incêndio realizadas.

Os materiais utilizados na construção dos modelos foram concreto e alvenaria de tijolo cerâmico conforme caracterização mostrada na Tabela 6.3.

Tabela 6.2 - Caracterização dos materiais de construção

CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS			
Concreto	Densidade	2500,0	kg/m ³
	Calor Específico	0,754	kJ/kg.K
	Condutividade	1,35	W/m.K
	Emissividade	0,94	
Tijolo	Densidade	1600,0	kg/m ³
	Calor Específico	0,84	kJ/kg.K
	Condutividade	0,69	W/m.K

Fonte: Hurley (2015). Modificado pelo autor

A fim de acelerar o processo de combustão da carga de incêndio durante as simulações numéricas, e alcançar as condições de “flashover” mais rapidamente, foi instalada uma fonte de ignição sobre o piso dos compartimentos de incêndio denominado “Heater”. Essa fonte de calor, funcionou como uma chapa aquecida gerando um fluxo de calor líquido de 100 kW/m² sob os elementos de madeira. Esta taxa de fluxo de calor demandou intervalo de cerca de 6 s para aquecer a madeira acima de 384°C, produzindo a ignição espontânea de toda carga de incêndio do ambiente, quase que simultaneamente. Após um determinado intervalo foi providenciado o “desligamento” do “Heater” para que essa fonte de calor não influenciasse a produção de energia da simulação computacional, e o calor gerado fosse integralmente em virtude da queima da madeira. Esta metodologia foi utilizada para que o experimento numérico se acelerasse até o ponto de combustão generalizada denominada “flashover” e reduzisse o tempo total de simulação.

6.1 AMBIENTE HIPOTÉTICO PREVISTO EM NORMA

Foi realizada a análise de dois ambientes hipotéticos previsto na IT 09/2018 (CBPMESP, 2018). O primeiro ambiente, caso I, trata-se de uma edificação horizontal com aberturas adjacentes entre ambientes contíguos conforme a mostra a Figura

2.11. Os compartimentos vizinhos são separados por paredes corta fogo, as aberturas adjacentes (portas ou janelas) são afastadas em 2 m entre si, ou, em substituição a este afastamento, existe uma aba horizontal de no mínimo 0,90 m entre aberturas adjacentes em uma mesma superfície externa. O segundo ambiente, caso II, trata-se de duas edificações verticalizadas com aberturas nas fachadas cuja compartimentação horizontal é garantida pelo afastamento horizontal entre as fachadas confrontantes conforme mostra a Tabela 2.3. Os afastamentos dependem exclusivamente da taxa de abertura das fachadas das edificações confrontes.

A carga de incêndio utilizada no interior dos compartimentos das simulações numéricas foi conforme mostra a Tabela 6.2. As aberturas dos ambientes de incêndio compartimentados, portas e janelas, em todos os casos, foram projetadas para reproduzirem incêndios “bem ventilados”, ou seja, incêndios governados pela oferta de combustível. O material construtivo utilizado na caracterização das edificações foi concreto armado para as estruturas, lajes e pilares, e alvenaria de tijolo cerâmico para os fechamentos (parede).

Tabela 6.3 - Cargas de incêndio para ocupações das análises numéricas dos ambientes hipotéticos I e II

	Ocupação	Carga - incêndio
CASO I	Calçados	500 MJ/m ²
	Shoppings	800 MJ/m ²
	Livrarias/farmácias	1000 MJ/m ²
CASO II	Escritórios	700 MJ/m ²

Fonte: Autor

6.1.1. Simulação do caso I

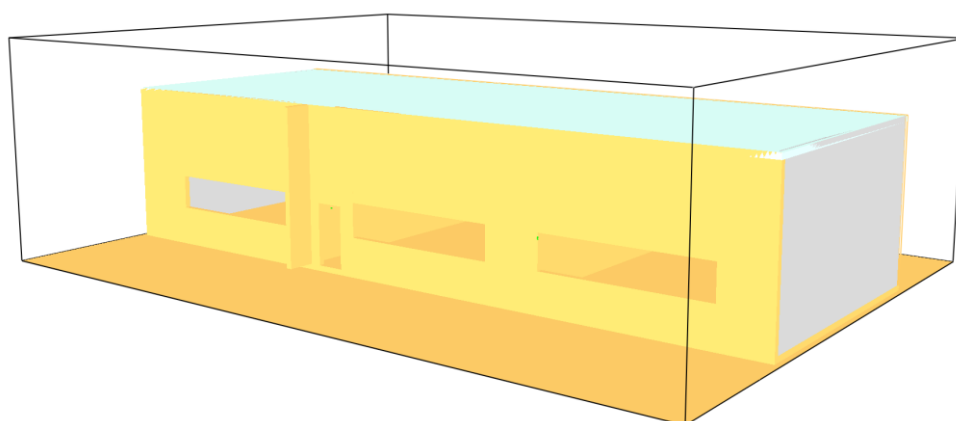
6.1.1.1 Geometria

Para simulação do caso I, a arquitetura utilizada foi a compartimentação horizontal entre unidades autônomas vizinhas com aberturas adjacentes. O referencial utilizado para elaboração do modelo foi a Figura 2.11, obtida da IT 09/2018 (CBPMESP, 2018). Sendo assim, utilizando a ferramenta de construção de obstáculos, OBST, do FDS foi

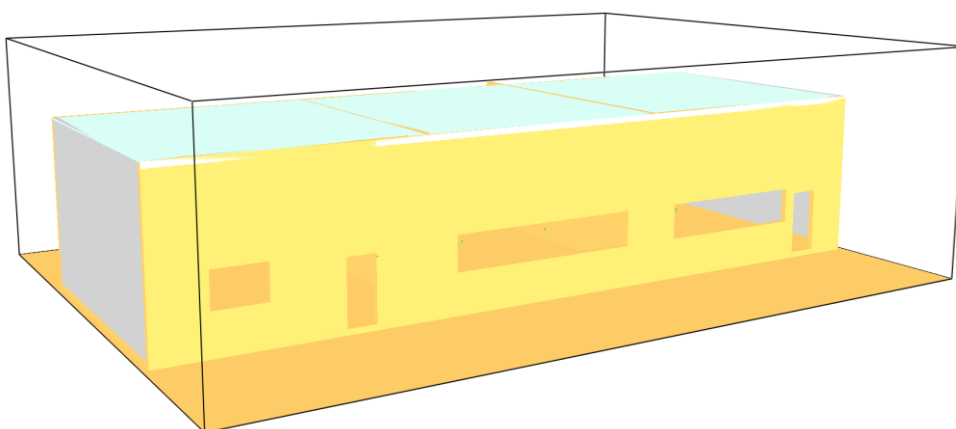
construída a imagem tridimensional, gerada por meio do “Smokeview”, da edificação representada na Figura 6.1.

A fim de reproduzir as condições prevista na IT 09/2018 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, foram realizados ajustes na arquitetura de forma que os afastamentos laterais entre aberturas adjacentes de unidades autônomas fossem superiores a 2 m e, para o caso cujo afastamento é inferior foi utilizado uma aba horizontal de 0,90 m avançando na fachada da edificação entre as aberturas. Além disso, as aberturas dos compartimentos foram dimensionadas de maneira que os ambientes fossem “bem ventilados”, ou seja, em caso de incêndio o comportamento da reação de combustão no compartimento será controlado pela oferta de combustível.

Figura 6.1 - Geometria do ambiente construído para as simulações computacionais de incêndio do caso I



A - Frente

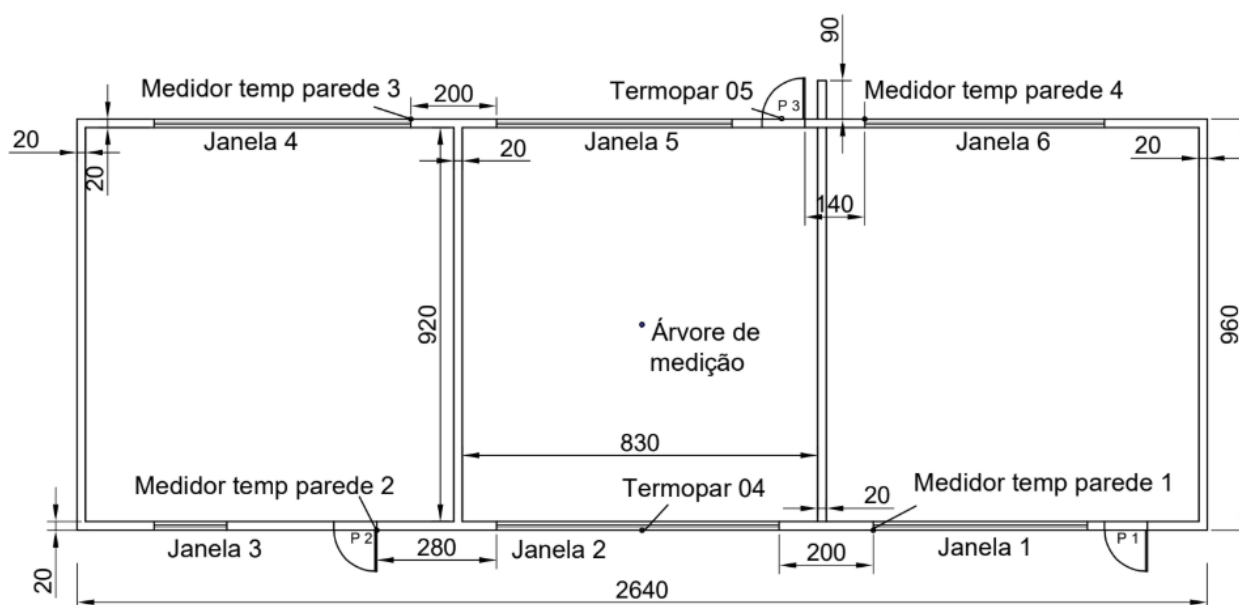


B - Fundos

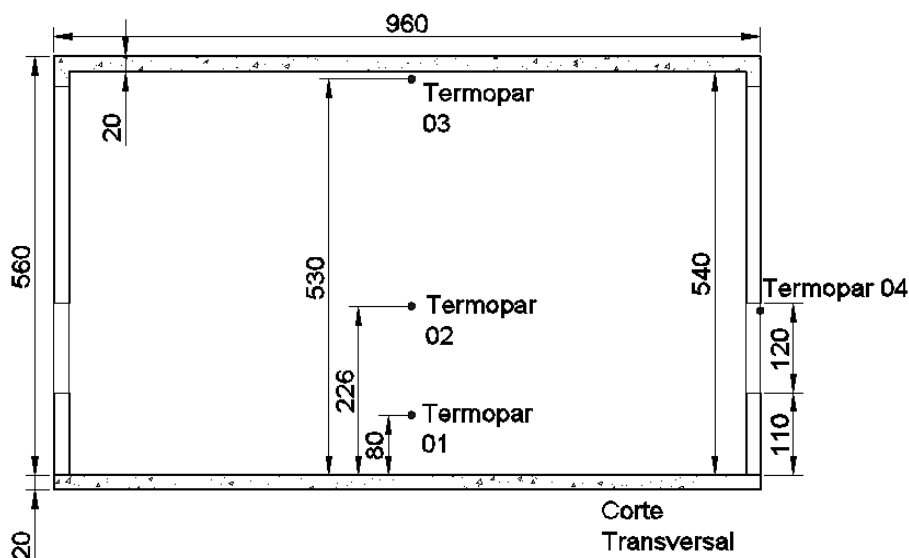
Fonte: Autor

A Figura 6.2 mostra as informações arquitetônicas do ambiente do caso I representado pela Figura 6.1. As paredes são em alvenaria de bloco cerâmico e o teto e o piso em concreto, cuja caracterização consta na Tabela 6.2. A espessura das paredes e teto são de 0,20 m a fim de melhor se ajustarem a malha escolhida de 0,20m, refinação média, para simulação computacional numérica do caso I.

Figura 6.2 – Desenho arquitetônico do ambiente hipotético do caso I. As cotas estão em centímetros



(a) Planta baixa, esquemática



(b) Corte transversal

Fonte: Autor (medidas em cm, sem escala)

6.1.1.2 Distribuição da carga de incêndio

As simulações do caso I foram executadas para três configurações de carga de incêndio conforme a Tabela 6.3. A fim de reproduzir a mesma quantidade de energia despreendida durante a queima de materiais combustíveis e, na impossibilidade de obter fonte segura de dados sobre a taxa de liberação de calor e potencial calorífico dos materiais comumente encontrados em lojas comerciais, foi utilizada a metodologia denominada “equivalente em madeira” para distribuição da carga de incêndio.

A madeira utilizada possui características de queima representada na Tabela 6.1 e sua massa foi tal que pudesse reproduzir a quantidade de energia estipulada para o ensaio computacional. A Tabela 6.4 demonstra de forma simplificada a memória de cálculo para determinação da massa de madeira e as dimensões utilizadas para distribuição da carga de incêndio de 500 MJ/m², 800 MJ/m² e 1000 MJ/m² no interior da loja central da Figura 6.3.

Tabela 6.4 - Determinação da quantidade de madeira para simulação de 500 MJ/m², 800 MJ/m² e 1000 MJ/m²

	Propriedades	500 MJ/m ²	800 MJ/m ²	1000 MJ/m ²
Características físicas da madeira	Densidade (kg/m ³) ¹	369,60	369,60	369,60
	Potencial Calorífico (MJ/kg) ¹	17,90	17,90	17,90
	Carga de incêndio (MJ)	38107,24	61395,00	76214,48
Características geométricas por elemento	Largura (m)	1,00	1,00	1,00
	Comprimento (m)	7,20	5,80	7,20
	Espessura (m)	0,20	0,20	0,20
	Volume (m ³)	1,44	1,16	1,44
Total	Área da Loja (m ²)	76,36	76,36	76,36
	Carga inc. específica (MJ/m ²)	499,05	804,02	998,09
	Quantidade de elementos	4,00	8,00	8,00

¹ Conforme dados obtidos por Andrade (2018)

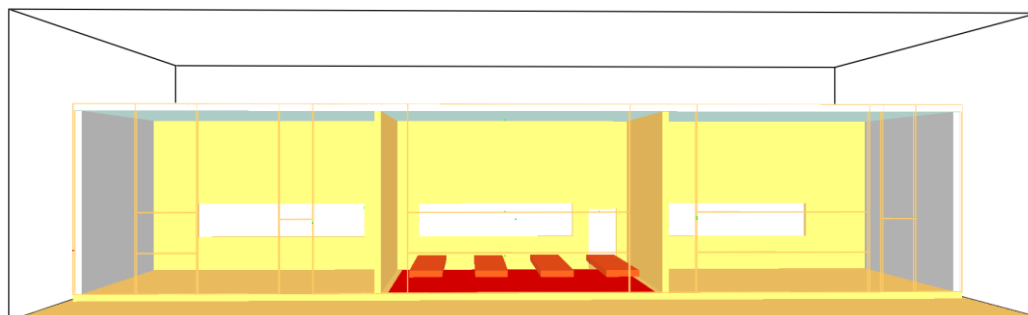
Fonte: Autor

A Figura 6.3A mostra a madeira uniformemente distribuída na loja central para carga de incêndio de 500 MJ/m². Ela foi posicionada na região central do compartimento. Os quatro elementos de 20 cm de espessura foram instalados no ambiente a 0,80 m do piso acabado e afastados 1 metro entre si.

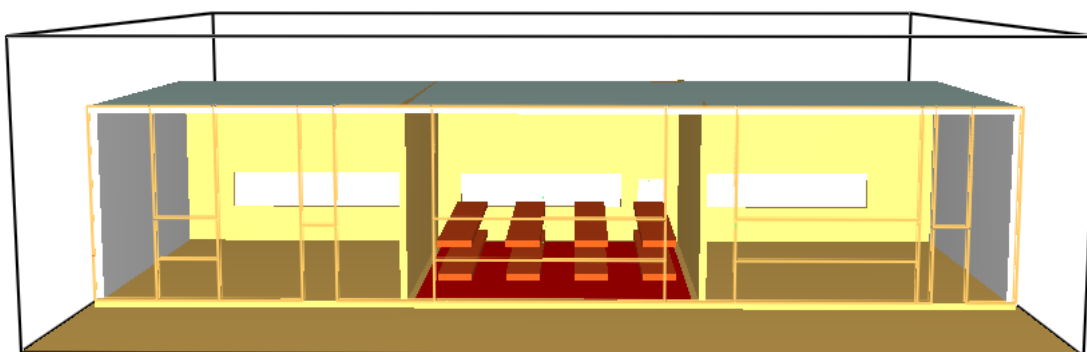
A Figura 6.3B mostra a madeira uniformemente distribuída na loja central para as cargas de incêndio específica de 800 MJ/m² e 1000 MJ/m². Os elementos foram instalados centralizados em grupo de 4 por camada, afastadas 1 m entre si, e as

camadas afastadas a 0,8 m uma da outra. As dimensões de cada elemento encontram-se representadas na Tabela 6.4.

Figura 6.3 - Distribuição da carga de incêndio de 500 MJ/m², 800 MJ/m² e 1000 MJ/m² na loja central



A – distribuição da madeira para 500 MJ/m²



B - distribuição da madeira para 800 MJ/m² e 1000 MJ/m²

Fonte: Autor

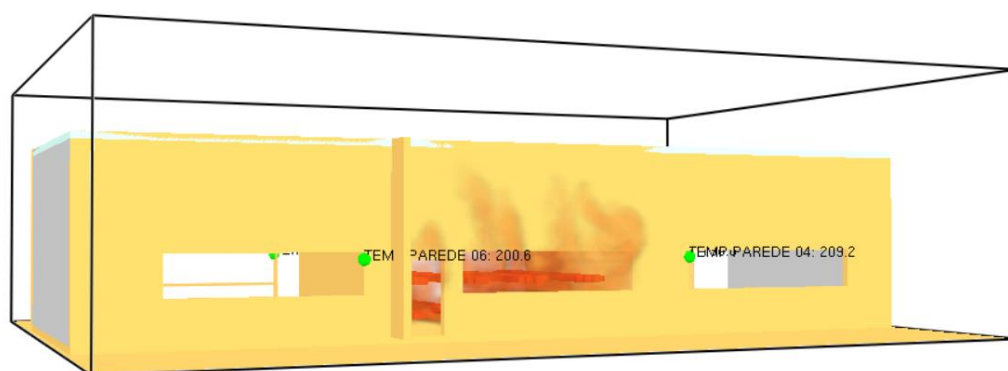
6.1.1.3 Dispositivos de medição

Foram instalados dispositivos de medição em posições estratégicas conforme mostra a Figura 6.2. No interior do ambiente de incêndio, compartimento central, foi instalado uma árvore de medição com três termopares a 0,8 m, 2,4 m e 5,5 m do piso. A árvore foi posicionada nas proximidades da região central da loja. Outros dois termopares foram instalados em uma das janelas (janela 2) do compartimento central e na porta de acesso (P3), em faces opostas, junto a aresta inferior do limite superior das aberturas.

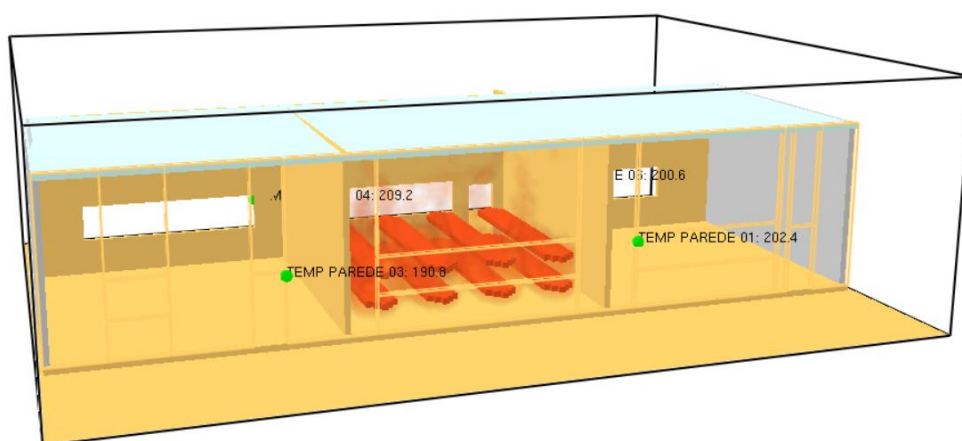
A Figura 6.4 mostra a árvore de medição de temperaturas no interior do ambiente de incêndio e o termopar instalado na janela. Além dos termopares, também foram instalados dispositivos capazes de medir a temperatura superficial dos obstáculos denominado “wall temperature”, com objetivo principal de medir ao longo do tempo a

elevação da temperatura nas aberturas adjacentes ao compartimento incendiado. Os medidores “wall temperature” foram instalados no limite proximal das aberturas vizinhas posicionados nas janelas 1, 3, 4 e 6. As Figuras 6.2 e 6.4 mostram as posições destes dispositivos.

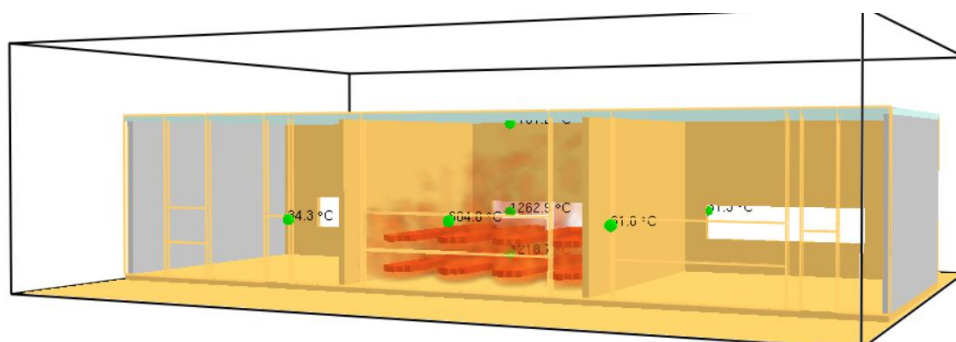
Figura 6.4 - Geometria e localização dos dispositivos de medição do caso hipotético I



a) Medidores de temperatura na parede, fundos



b) Medidores de temperatura na parede, frente



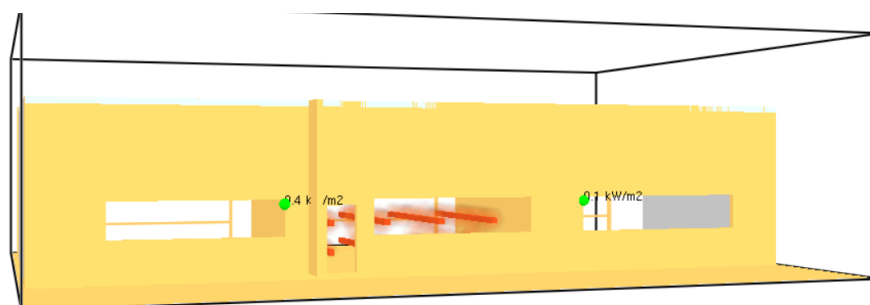
c) Medidores de temperatura no compartimento de incêndio

Fonte: Autor

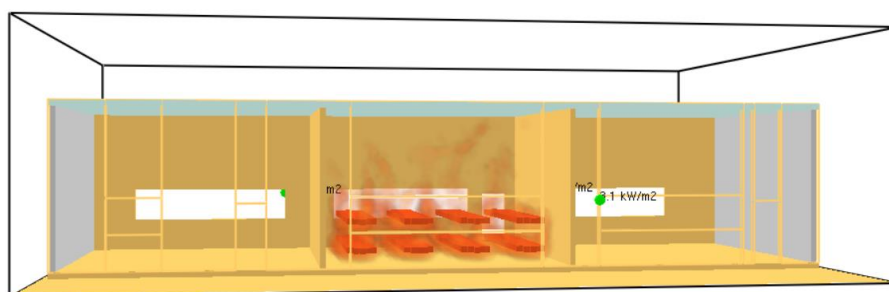
Também foram instalados medidores de fluxo de calor irradiado nas aberturas adjacentes ao compartimento central de forma a verificar as condições de propagação

horizontal do incêndio. A Figura 6.5 mostra a posição em que foram instalados estes dispositivos.

Figura 6.5 - Posicionamento dos medidores de fluxo de calor



(a) Medidor de fluxo de calor, fundos



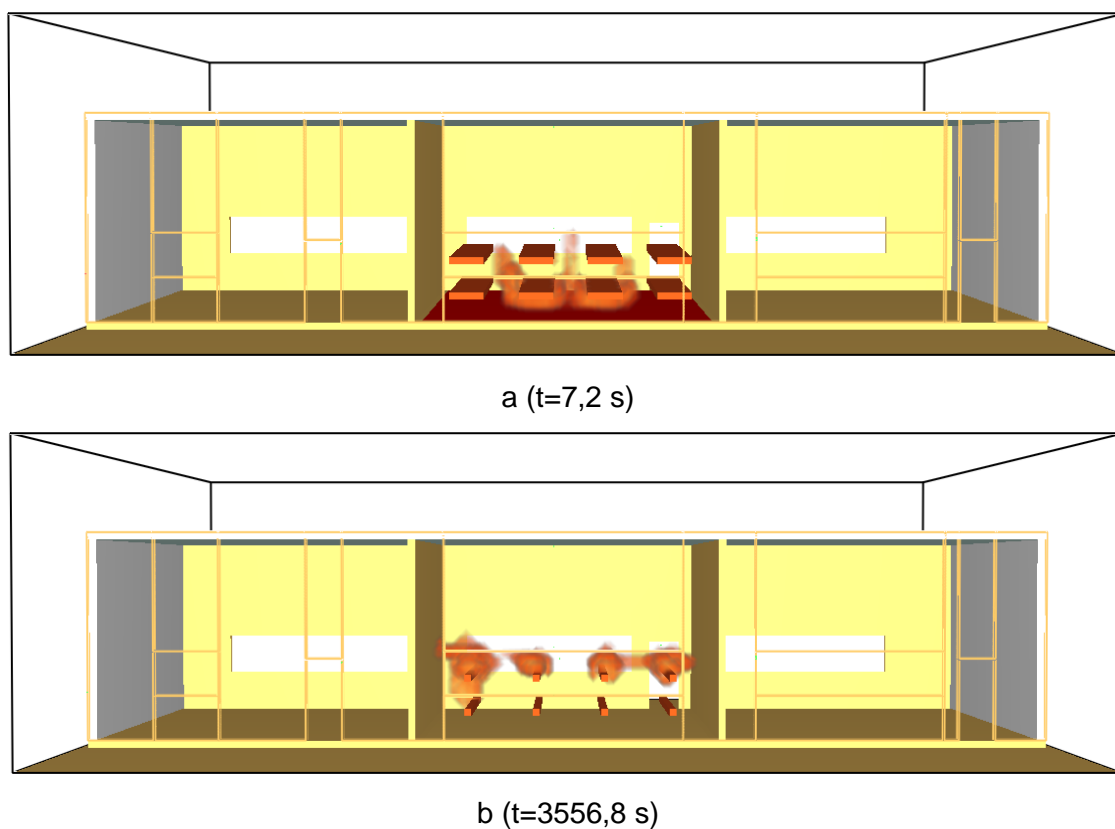
(b) Medidor de fluxo de calor, frente

Fonte: Autor

6.1.1.4 Tempo de Simulação

Foi determinado um tempo total de simulação de incêndio de uma hora (1 h) ou três mil e seiscentos segundos (3600 s). Esse intervalo foi definido a fim de garantir que o incêndio ultrapassasse o pico de energia gerada pela combustão total da carga de incêndio distribuída no interior da loja central. Isso, foi possível ser confirmado por meio do comportamento das curvas de temperatura versus tempo no interior da loja incendiada e pelas as imagens de consumo da madeira ao longo do tempo geradas pelo “Smokeview”. A Figura 6.6 mostra as condições de massa da madeira no início (a) e no fim da simulação (b) para carga de incêndio de 800 MJ/m^2 , e as figuras 6.13 a 6.18 mostram a evolução das temperaturas no interior da loja central para as três configurações de carga de incêndio do modelo hipotético do caso I.

Figura 6.6 - Consumo da madeira durante a simulação



Fonte: Autor.

6.1.1.5 Definição da malha para a simulação

Uma vez que o objetivo principal da simulação é verificar o comportamento do incêndio nos compartimentos vizinhos ao foco de incêndio, ou seja, a real condição de compartimentação horizontal da amostra, não foi requerido, então, uma maior acurácia do comportamento do incêndio nas proximidades da fonte principal de incêndio. Por esse motivo, considerando o elevado custo computacional demandado pela simulação, optamos por uma malha de refinamento médio, 0,20x0,20x0,20 m, totalizando 536.000 elementos.

6.1.1.6 Posicionamento do “Heater”

O “Heater” foi posicionado sobre o piso do compartimento central embaixo dos elementos de madeira. Um dispositivo denominado “TIMER” foi utilizado como

controlador do “Heater” para mantê-lo ligado por quinze segundos e desligá-lo em seguida. Na Figura 6.4 o “Heater” é representado pela cor vermelha logo abaixo dos elementos de madeira e assim que ele é desligado a cor vermelha desaparece da imagem.

6.1.1.7 Resultados

As simulações computacionais para o modelo do caso hipotético I foram realizadas em três (3) configurações de carga de incêndio, 500 MJ/m², 800 MJ/m² e 1000 MJ/m². A delimitação dessa amostra foi realizada com o intuito de avaliar se as regras de compartimentação horizontal prevista em norma são suficientes para evitar a propagação de incêndio e se o fenômeno depende da variação da carga de incêndio. As Figuras 6.7, 6.8 e 6.9 demonstram o comportamento do incêndio durante a simulação para os instantes $t = 10.8, 601.2, 2102.4$, e 3502.8 s nas três configurações, respectivamente.

Uma das faces do compartimento modelo foi representada como transparente nas Figuras 6.7, 6.8 e 6.9 para que fosse possível visualizar o interior do ambiente de incêndio. Foi verificado que a quantidade de fumaça gerada cresce com o incremento da carga de incêndio. Como a simulação foi realizada com o ambiente “bem ventilado”, ou seja, incêndio controlado pela oferta de combustível, as três simulações evoluíram de forma similar e o percentual de carga de incêndio residual ao final de 3600s de simulação foi aproximadamente igual.

O custo computacional das três simulações também foi similar e o tempo demandado pelo FDS para 3600s de incêndio foi de aproximadamente 5 dias para a simulação de 500MJ/m², 5 dias e 5 horas para a simulação de 800MJ/m², 5 dias e 22 horas para a simulação de 1000MJ/m² em computador com processador Intel® Core™ i7-7700 CPU @ 3.60 GHz 3.6 GHz, memória RAM de 16 GB e sistema operacional 64 bits, processador com base x64.

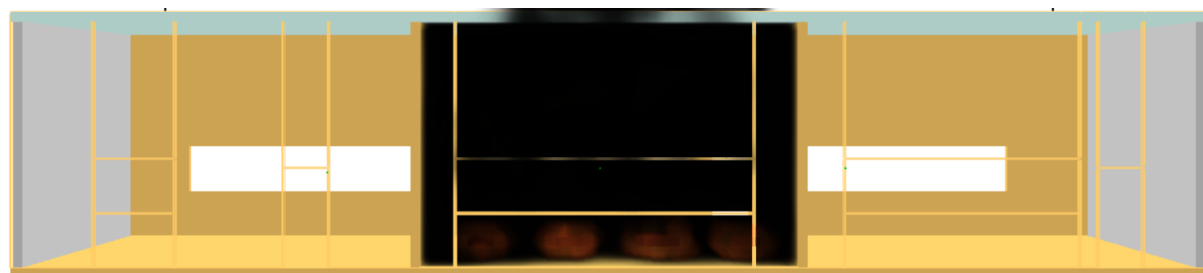
Figura 6.7 - Simulação FDS para incêndio em compartimento com carga de incêndio de 500 MJ/m²



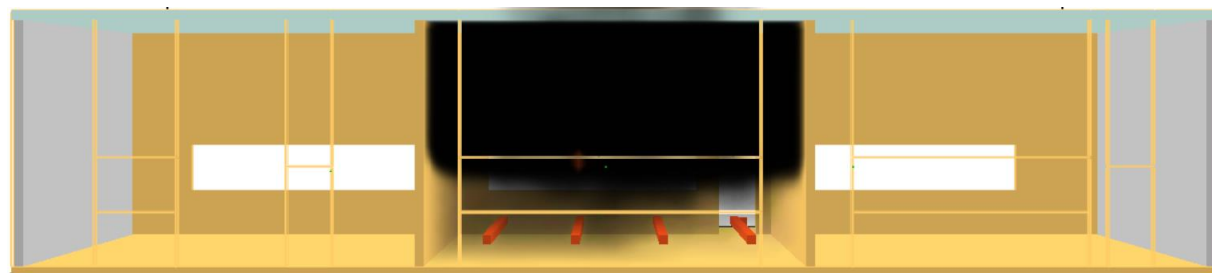
t = 10.8 s



t = 601.2 s (representado somente fogo)



t = 2102.4 s (representado fogo e fumaça)



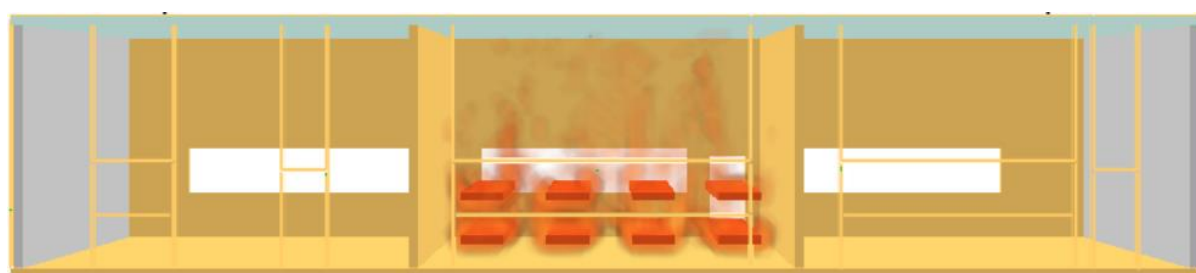
t = 3502.8 s (representado fogo e fumaça)

Fonte: Autor

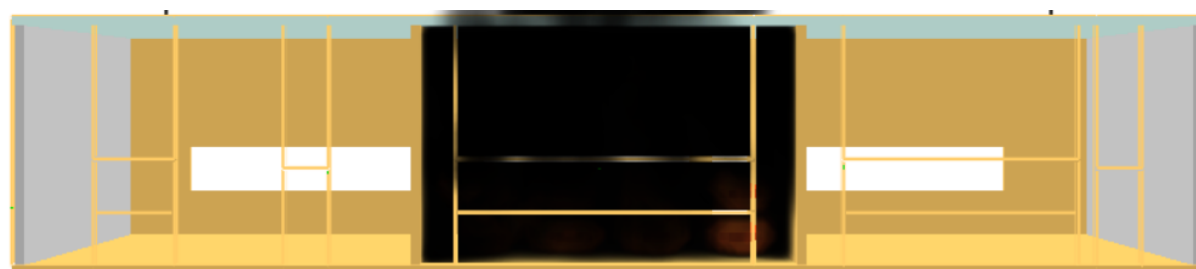
Figura 6.8 -Simulação FDS para incêndio em compartimento com carga de incêndio de 800 MJ/m²



t = 10.8 s



t = 601.2 s (representado somente fogo)



t = 2102.4 s (representado fogo e fumaça)



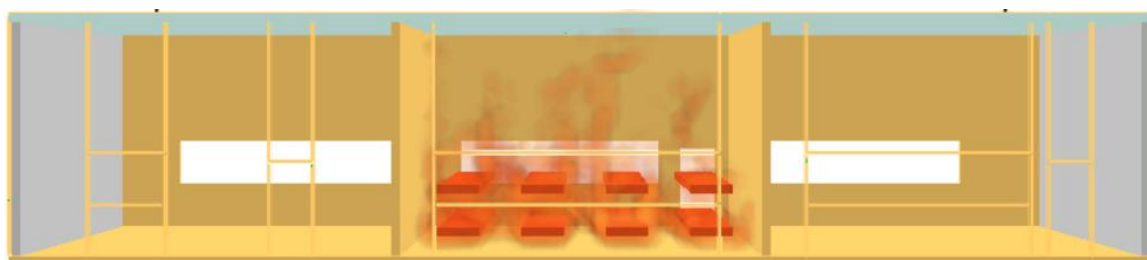
t = 3502.8 s (representado fogo e fumaça)

Fonte: Autor

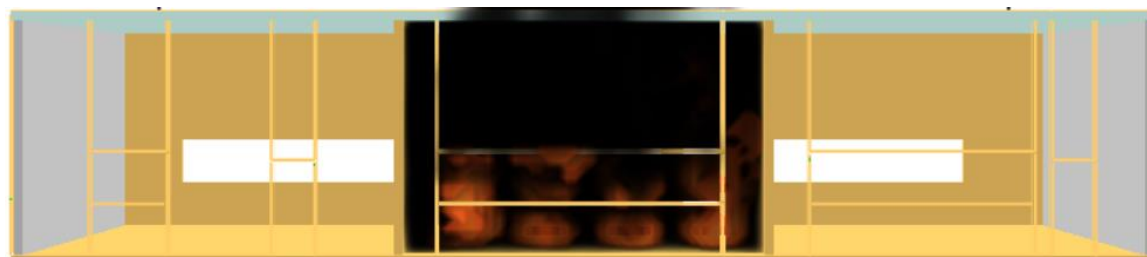
Figura 6.9 - Simulação FDS para incêndio em compartimento com carga de incêndio de 1000 MJ/m²



t = 10.8 s



t = 601.2 s (representado somente fogo)



t = 2102.4 s (representado fogo e fumaça)



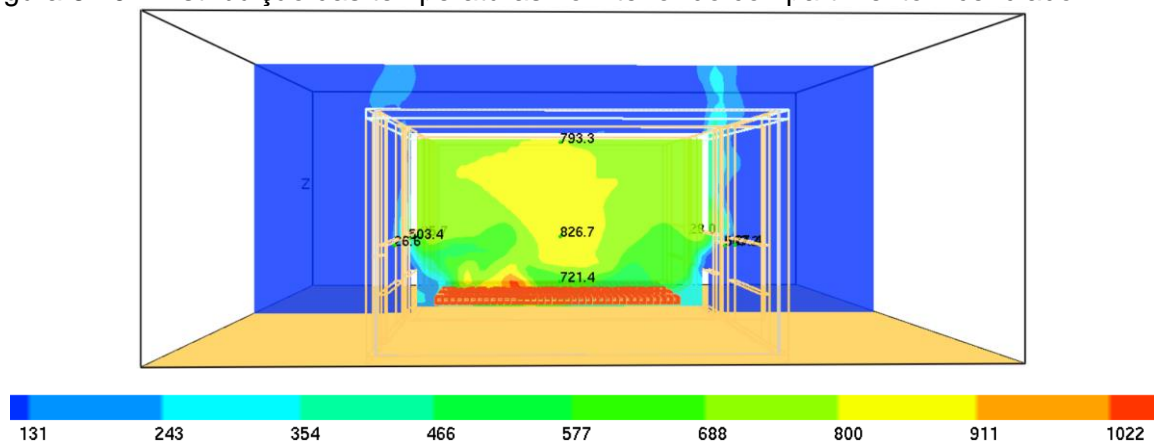
t = 3502.8 s (representado fogo e fumaça)

Fonte: Autor

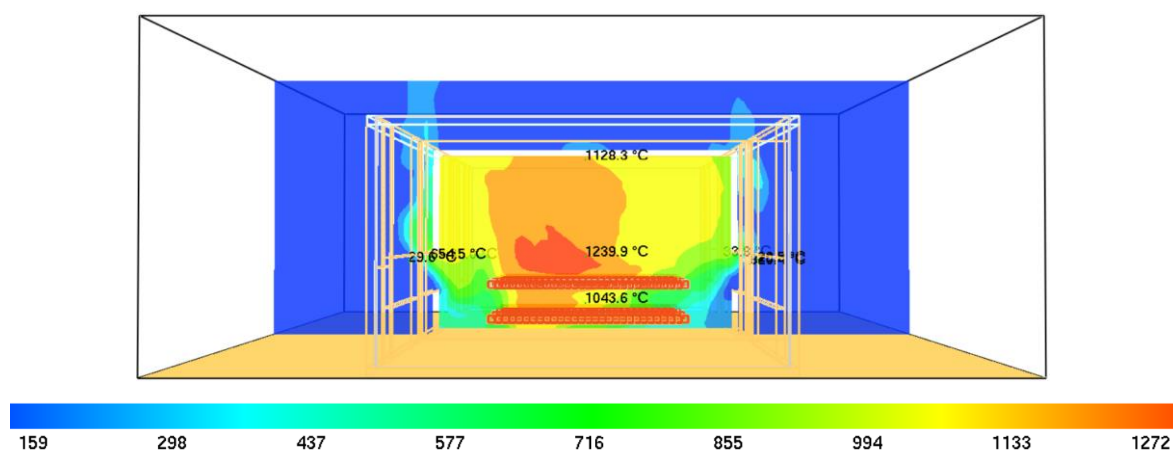
A Figura 6.10 demonstra a distribuição de temperatura em uma “lâmina” do ambiente de incêndio posicionada na cota x=12,60 m nos instantes indicados, para as três configurações de carga de incêndio das simulações computacionais do ambiente hipotético caso I. A distribuição das temperaturas representada na Figura 6.10 foi

extraída das imagens geradas pelo “Smokview”, por meio de uma ferramenta denominada “SLICE”.

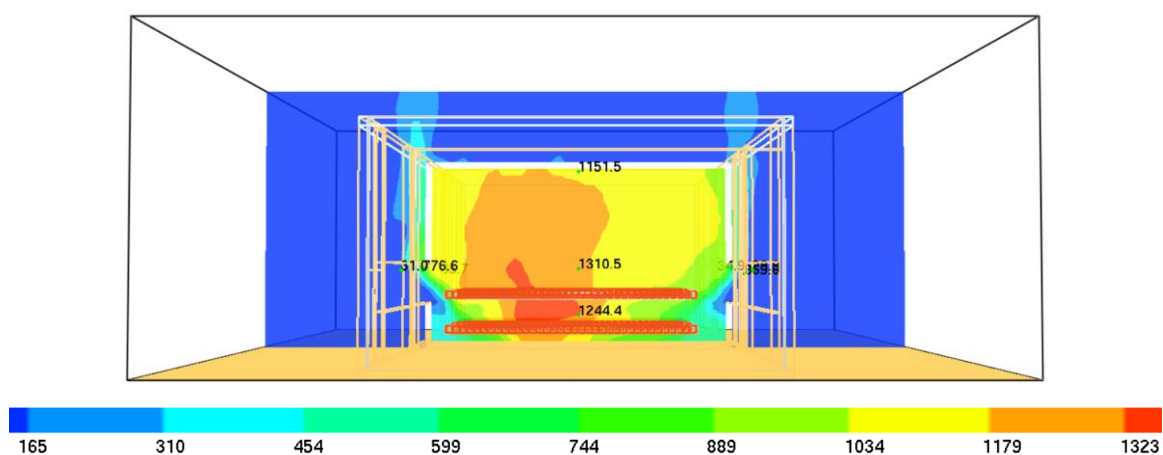
Figura 6.10 - Distribuição das temperaturas no interior do compartimento incendiado



(a) 500 MJ/m², t = 1980,0 s, (slice x = 12,8 m)



(b) 800 MJ/m², t = 2102,4 s, (slice x = 12,8 m)

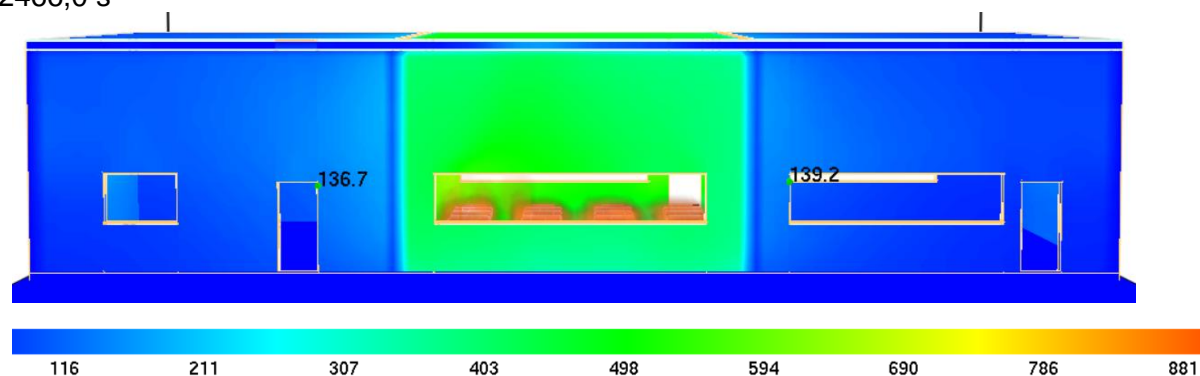


(c) 1000 MJ/m², t = 2102,4 s, (slice x = 12,8 m)

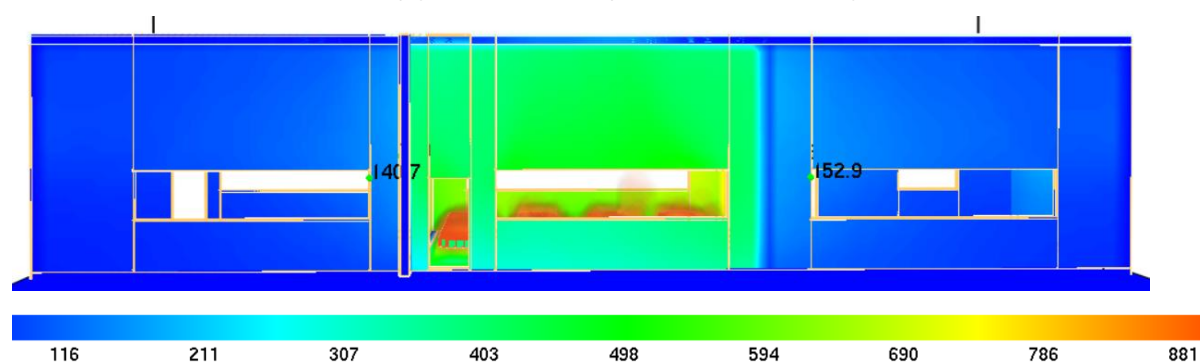
Fonte: Autor

A distribuição das temperaturas representada na Figura 6.10 foi extraída das imagens geradas pelo “Smokview”, por meio de uma ferramenta denominada “SLICE”. O corte transversal situa-se na posição central do compartimento incendiado, nos instantes e carga de incêndio indicados. A partir das imagens representadas na Figura 6.10 foi possível visualizar a distribuição das temperaturas no interior do ambiente sinistrado que se apresentam com valores distintos dependendo da posição no volume do ambiente. Além disso, foi verificado que os valores máximos cresceram com o incremento da carga de incêndio em cada simulação. A distribuição não uniforme das temperaturas no interior do ambiente de incêndio coincide com o que foi observado por Babrauskas e Williamson (1978) nos ensaios representados na Figura 2.44.

Figura 6.11 - Distribuição da temperatura superficial das paredes externas, 500MJ/m² e t = 2466,0 s



(a) Vista frontal (escala em Celsius)



(b) Fundo (escala em Celsius)

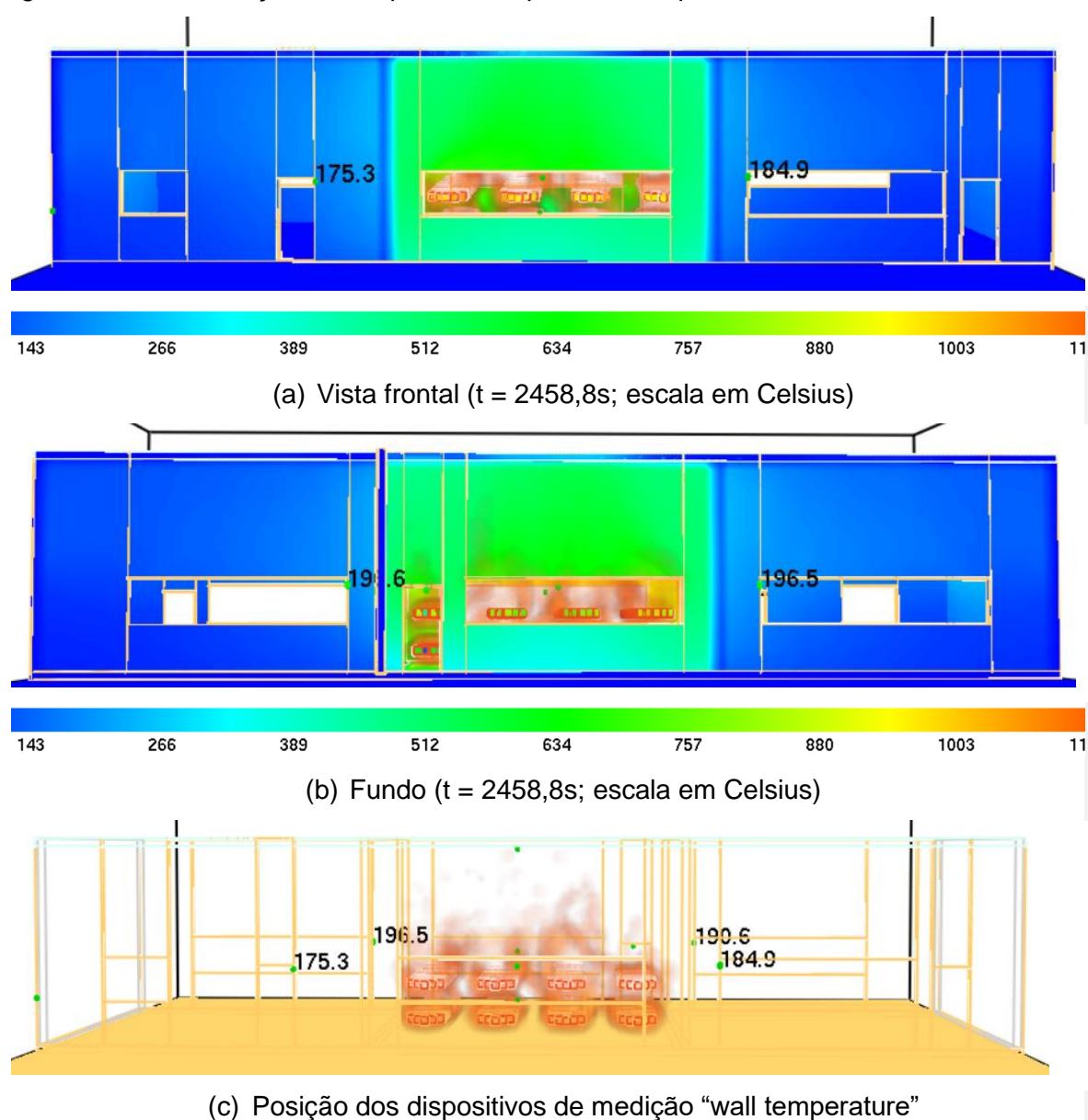


(c) Posição dos dispositivos de medição “wall temperature”

Fonte: Autor

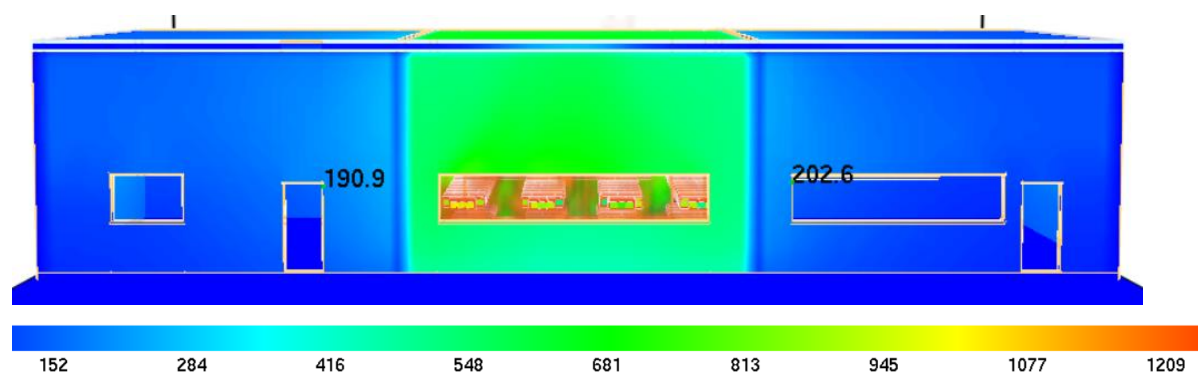
De forma análoga, A Figura 6.11 mostra a distribuição das temperaturas na superfície externa das paredes da edificação da simulação computacional com 500 MJ/m² de carga de incêndio medidas no instante $t = 2466,0$ s. Além disso, também foram representadas as temperaturas no limite das aberturas adjacentes ao compartimento incendiado, onde verificou-se que, embora os afastamentos entre as aberturas sejam iguais ou superior ao previsto em norma, as temperaturas são elevadas e, dependendo dos materiais existentes nessas aberturas, pode ocorrer a ignição deles com consequente propagação do incêndio para os ambientes vizinhos.

Figura 6.12 - Distribuição da temperatura superficial das paredes externas, 800MJ/m²

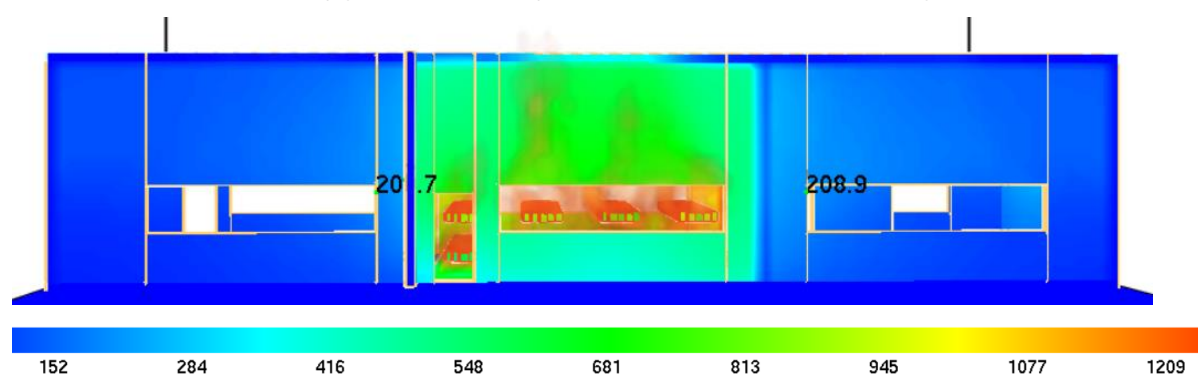


Fonte: Autor

Figura 6.13 -Distribuição da temperatura superficial das paredes externas, 1000MJ/m²



(a) Vista frontal (t=2523,6s; escala em Celsius)



(b) Fundo (t=2523,6s; escala em Celsius)



(c) Posição dos dispositivos de medição "wall temperature" (t=2523,6s)

Fonte: Autor

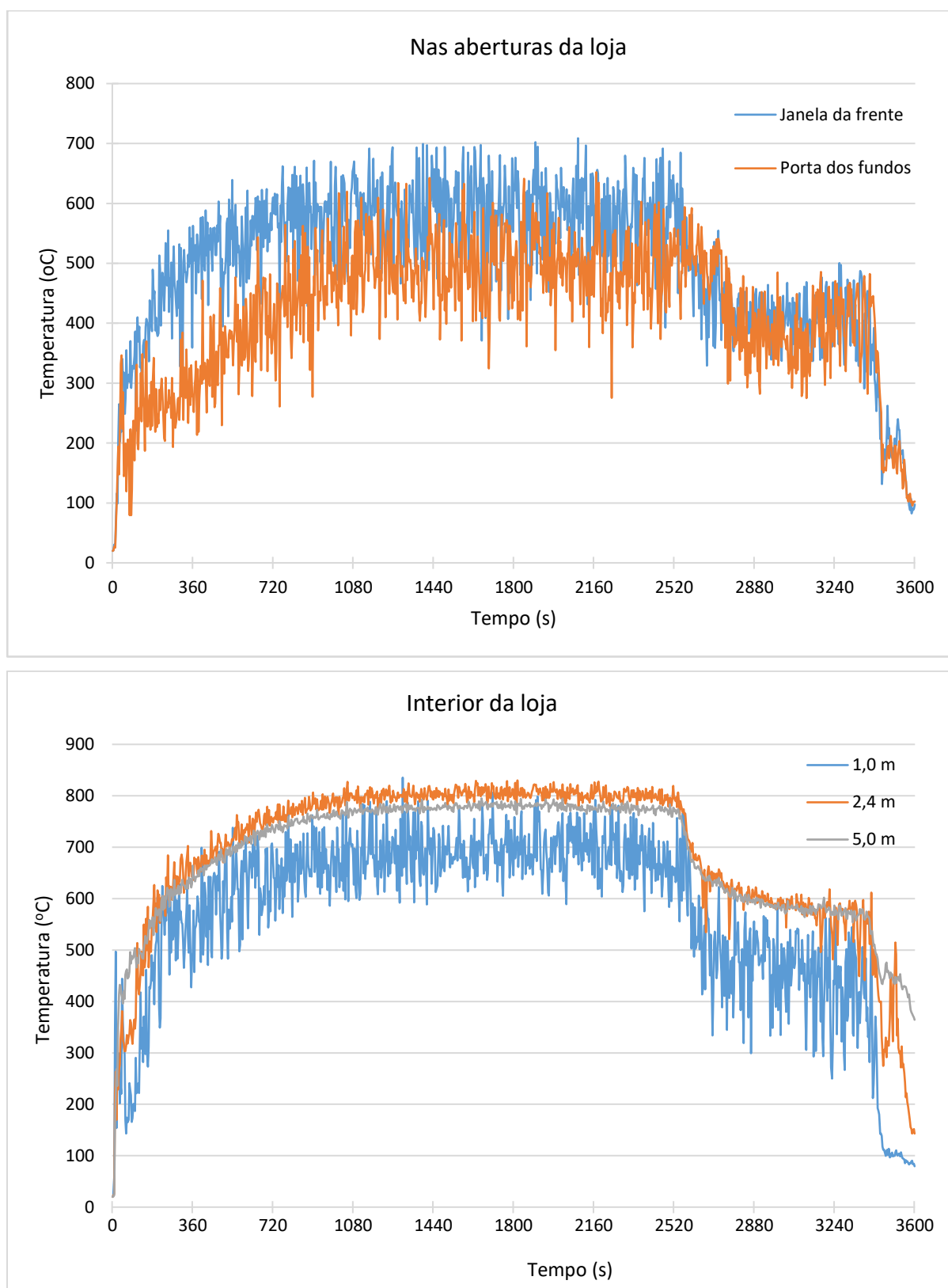
As Figuras 6.12 e 6.13 mostram a mesma perspectiva para as cargas de incêndio de 800 MJ/m² e 1000 MJ/m², respectivamente. Foi verificado que as temperaturas medidas junto às aberturas sofreram incremento com o aumento da carga de incêndio, ou seja, quanto maior a carga de incêndio no ambiente sinistrado maior o valor da temperatura medida. Sendo assim, como a IT 09/2018 (CBPMESP, 2018) não considera a variável carga de incêndio como parâmetro para determinar os afastamentos mínimos entre aberturas laterais, as regras estipuladas pela norma podem não ser eficientes para impedir a propagação de incêndio dependendo da ocupação da edificação.

Identificou-se comportamento do incêndio ao longo do tempo com a instalação dos termopares no interior do compartimento incendiado. O Fire Dynamics Simulator gerou uma planilha com os valores medidos por cada dispositivo instalado, e esses valores foram representados nos gráficos das Figuras 6.14 a 6.19. Foi verificado que a elevação das temperaturas ocorreu como esperado nas três configurações de carga de incêndio e, as curvas do comportamento das temperaturas no incêndio obteve boa aproximação com a curva característica de incêndio natural.

Também foi verificado o ponto de inflexão da curva do gráfico no primeiro terço da simulação que delimita o intervalo que contém o “flashover”. Com o transcorrer da simulação, o incêndio foi reduzindo as temperaturas à medida que a carga de incêndio foi sendo consumida, indicando que evoluiria para extinção natural, assim que todo o combustível se esgotasse. Esse comportamento é característico em incêndios “bem ventilados”, controlados pela oferta de combustível.

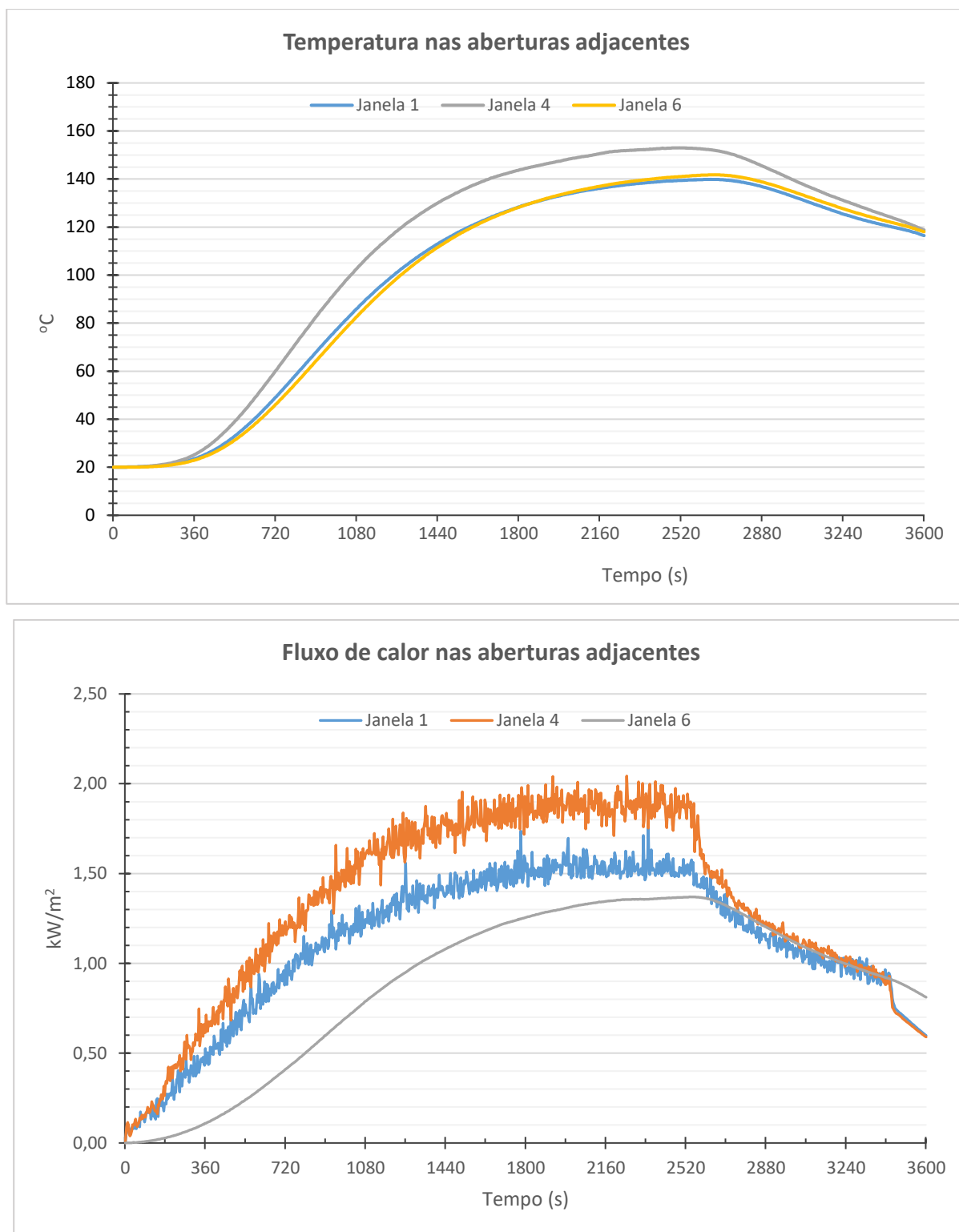
As Figuras 6.14 e 6.15 apresentam graficamente os resultados obtidos para as temperaturas e o fluxo de calor medidos durante a simulação computacional de incêndio por meio do FDS para a carga de incêndio específica de 500MJ/m^2 .

Figura 6.14 - Temperaturas medidas na loja incendiada com a carga de incêndio específica de 500MJ/m^2



Fonte: Autor

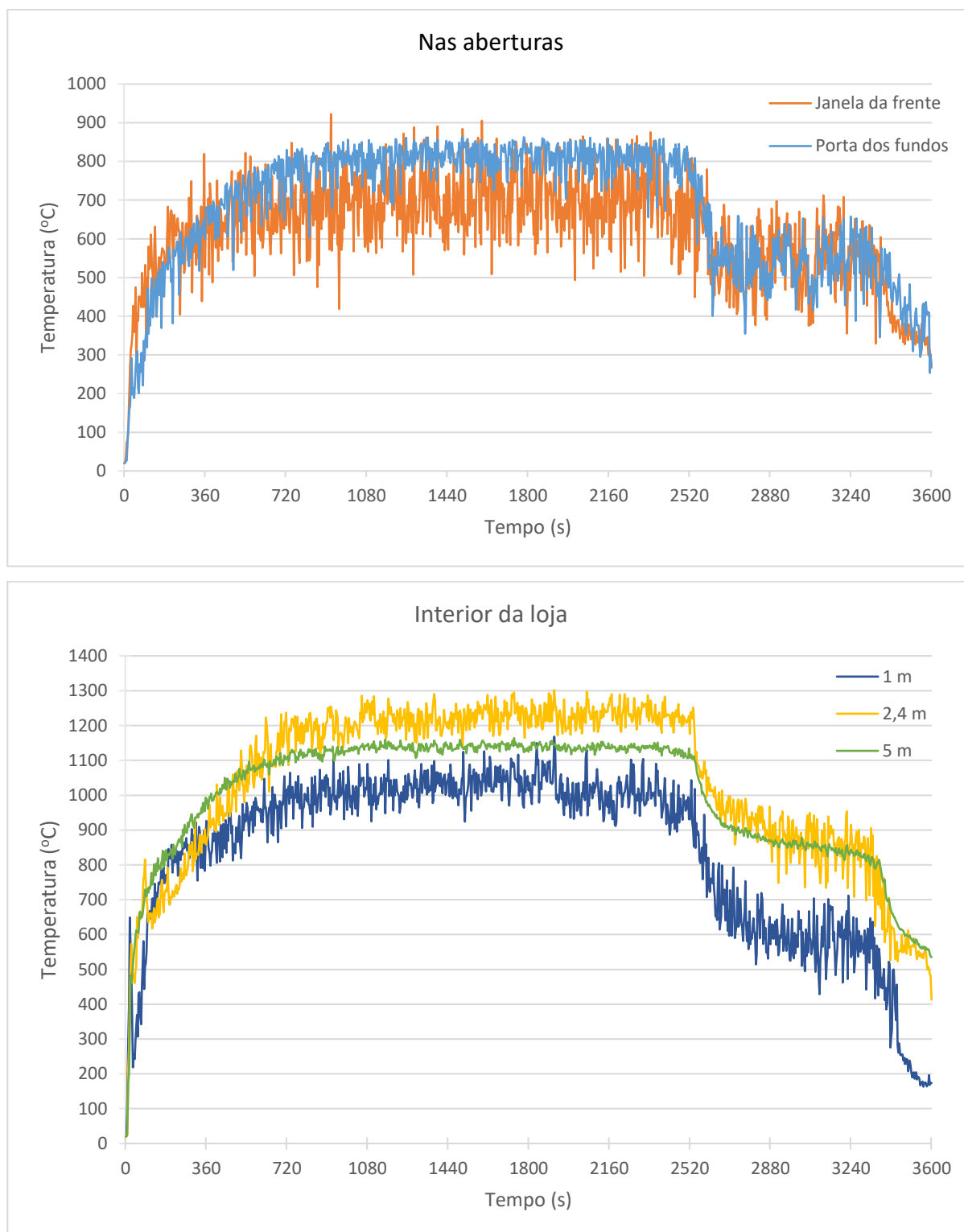
Figura 6.15 - Temperatura e o fluxo de calor medidos na superfície externa da parede junto as aberturas adjacentes ao compartimento incendiado para carga de incêndio de 500MJ/m²



Fonte: Autor

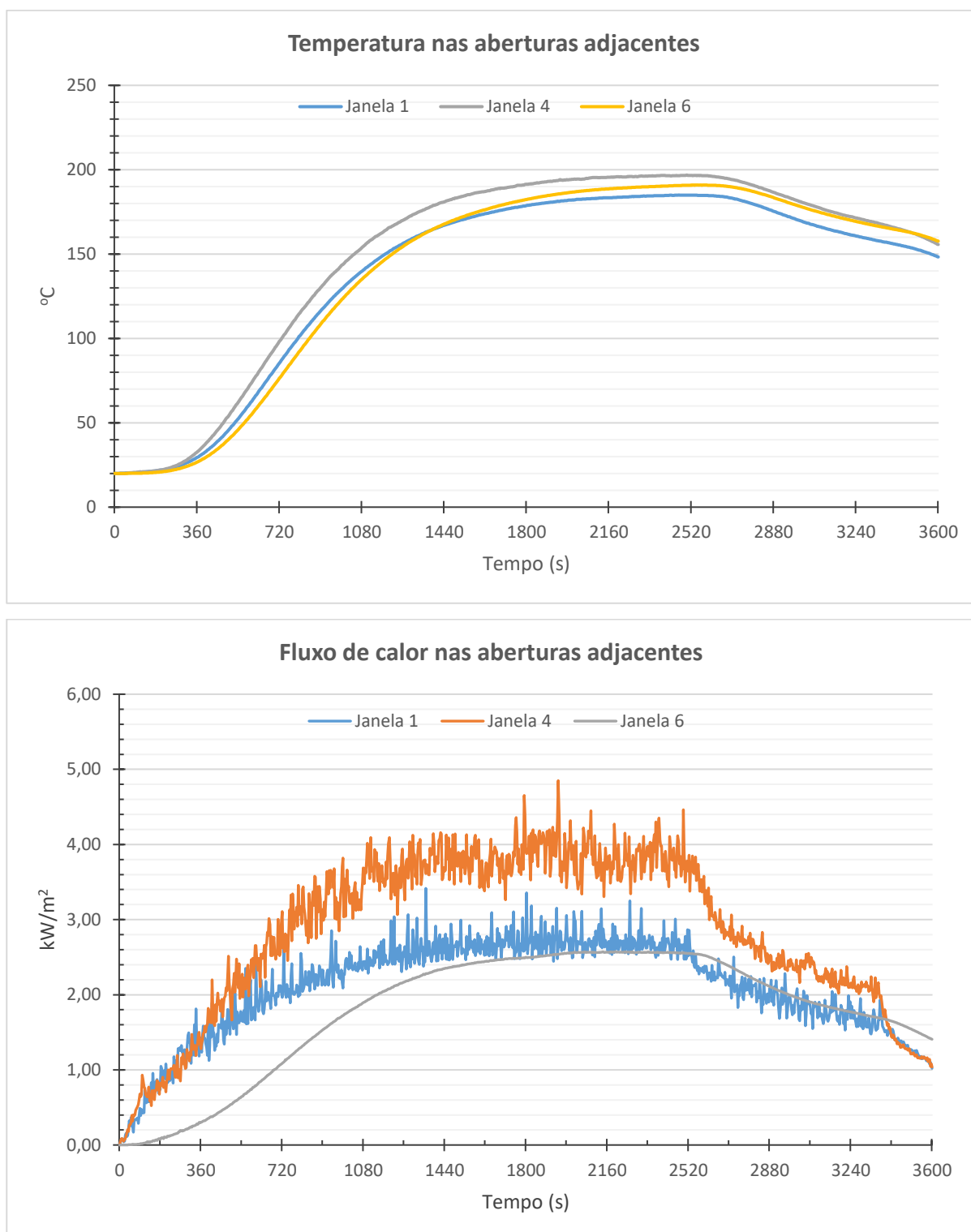
As Figuras 6.16 e 6.17 apresentam graficamente os resultados obtidos das temperaturas e fluxo de calor medidos na simulação computacional por meio do FDS para a carga de incêndio específica de 800MJ/m^2 .

Figura 6.16 - Temperatura no interior da loja incendiada para carga de incêndio de 800MJ/m^2



Fonte: Autor

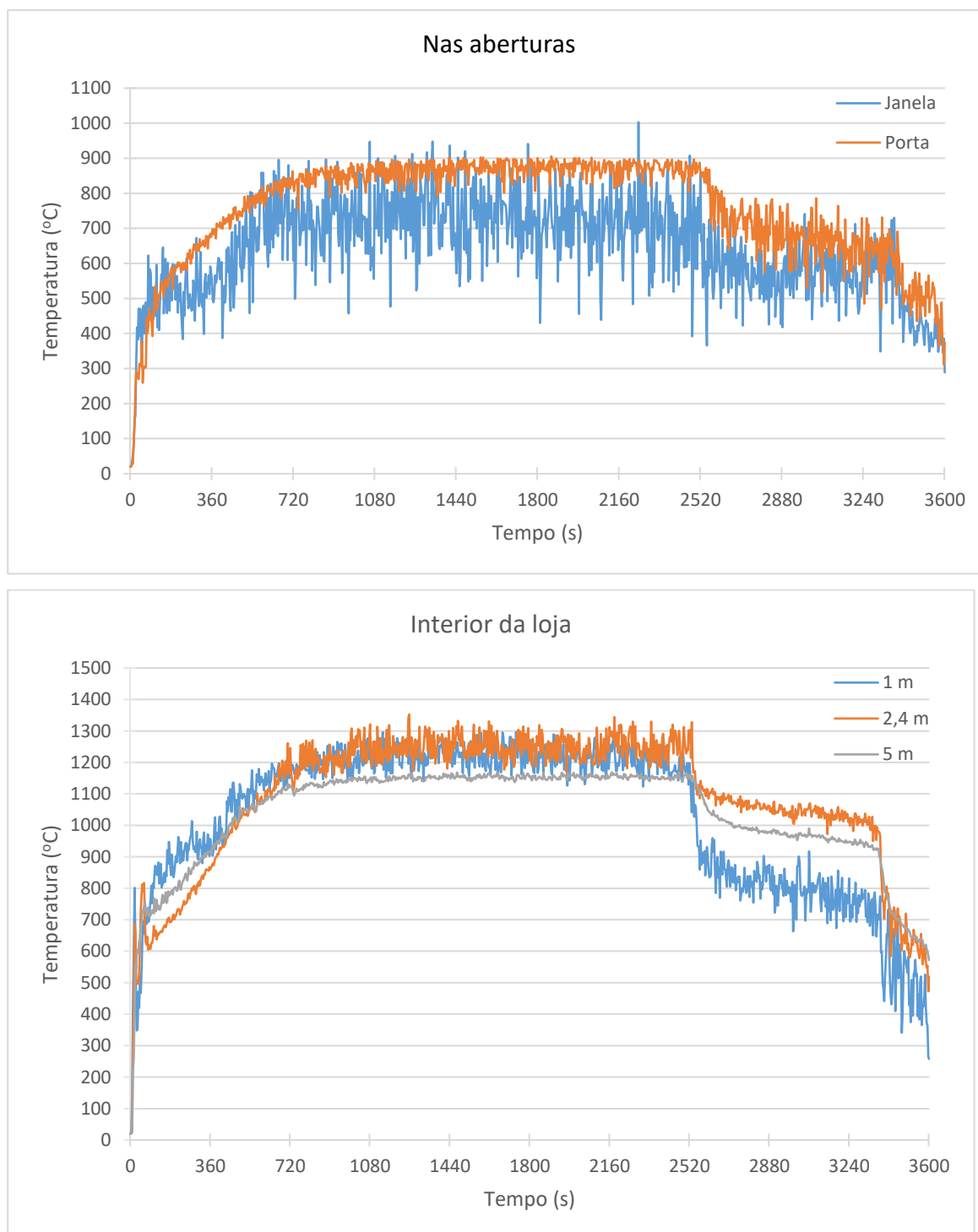
Figura 6.17 - Temperatura medida na superfície externa da parede junto as aberturas adjacentes da loja incendiada para carga de incêndio de 800MJ/m²



Fonte: Autor

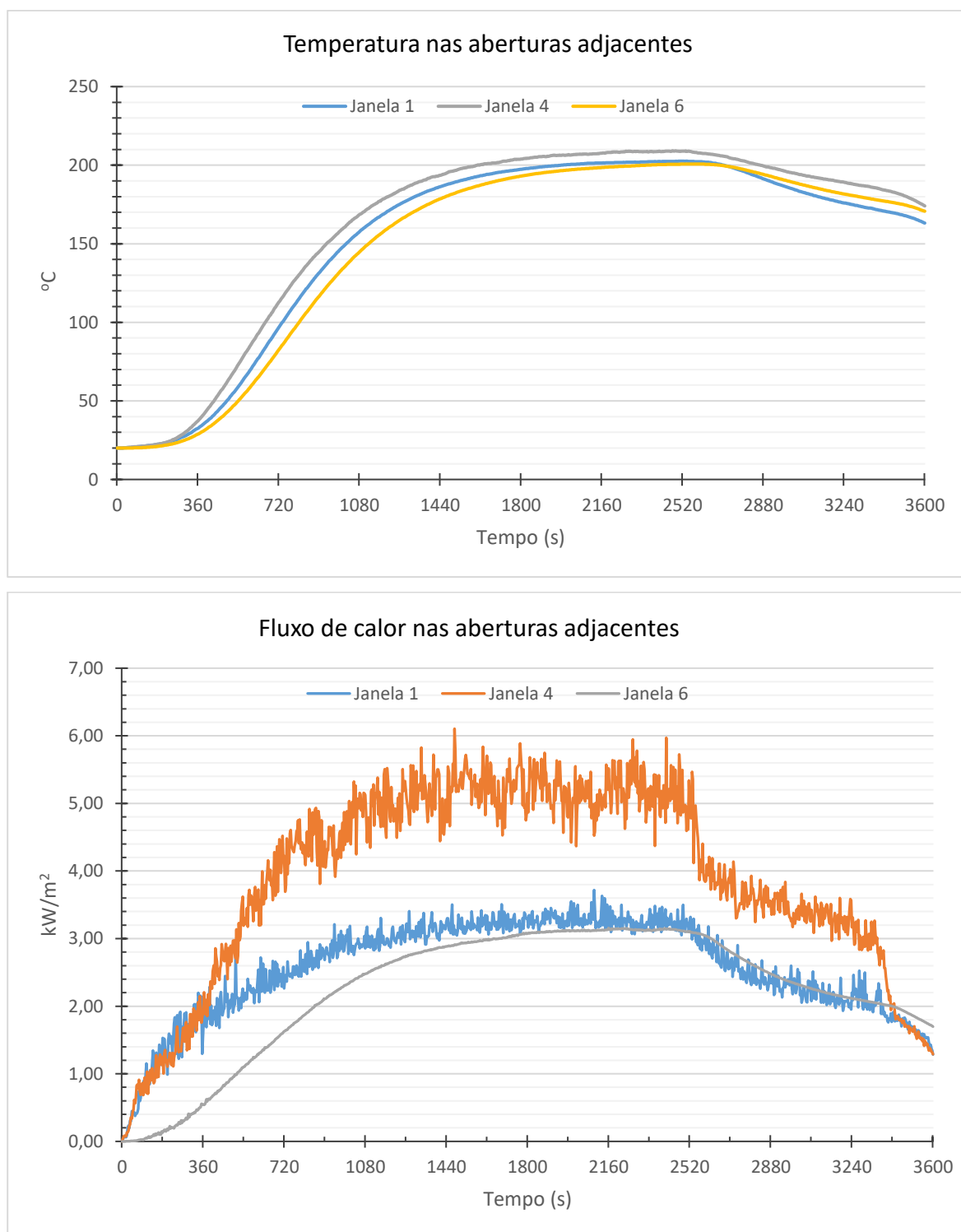
As Figuras 6.18 e 6.19 apresentam graficamente os resultados obtidos das temperaturas e fluxo de calor medidos na simulação computacional por meio do FDS para a carga de incêndio específica de 1000MJ/m^2 .

Figura 6.18 - Temperatura no interior da loja incendiada para carga de incêndio de 1000MJ/m^2



Fonte: Autor

Figura 6.19 - Temperatura medida na superfície externa da parede junto as aberturas adjacentes da loja incendiada para carga de incêndio de 1000MJ/m^2



Fonte: Autor

A temperatura medida nas proximidades das janelas adjacentes foi maior na janela 4, aproximadamente 210°C , para simulação computacional de incêndio com 1000MJ/m^2

de carga de incêndio específica, como mostra a tabela 6.7. Tal temperatura para alguns materiais combustíveis é suficiente para iniciar o processo de pirólise, que é a quebra das cadeias de moléculas de sólidos devido à elevação da temperatura provocada pela energia irradiada pelo incêndio. De acordo com o “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering” (2015), são necessárias duas condições para a ocorrência de ignição espontânea: primeiro, calor suficientemente intenso para produzir pirólise dos materiais combustíveis que redunde na formação de uma camada superficial de combustível e comburente dentro dos limites de inflamabilidade; segundo, a camada deve estar suficientemente aquecida para iniciar e manter a reação de combustão (Reação em cadeia). A Tabela 6.5 mostra as propriedades térmicas de alguns materiais poliméricos quando aquecidos.

Tabela 6.5 - Propriedades térmicas de sólidos poliméricos quando aquecidos

POLÍMEROS NATURAIS	ΔH_c	COMPORTAMENTO TÉRMICO (DRYSDALE)	PONTO DE FUSÃO (MERCK INDEX)
Algodão		Carboniza acima de 200°C	
Celulose	16,1	Carboniza acima de 100°C	
Polímeros Termoplásticos			
Polietileno (HD)	46,5	Funde entre 130 e 135°C	85 a 110°C ^a
Polipropileno (isotático)	46,0	Funde a 186°C	165°C ^a
Polimetilmetacrilato	26,2	Funde a 160°C	250°C
Poliestireno	41,6	Funde a 240°C	180°C
Poliacrilonitrila		Funde a 317°C	
Nylon 66	31,9	Funde entre 250 e 260°C	
Nylon 6		-	225°C
Policloreto de vinila (PVC)	19,9	-	Carboniza entre 200 e 300°C
Polímeros Termofixos			
Poliéster			Decompõe a 250°C
Espuma poliuretano	24,4	Decompõe entre 200 e 300°C em isocianato e polioli	
Espuma fenólica	17,9	Carboniza	
Espuma poliisocianurato	24,4	Carboniza	
Silicone	26,8	Decompõe em óxidos (SiO ₂)	

Fonte: DE HAAN (p. 153, 2014)

^a O ponto de fusão de muitos polímeros é obtido pela quantidade de reticulados da estrutura química o que varia consideravelmente.

No caso de sólidos de madeira a pirólise ocorre por volta de 327°C. De acordo com Bhatia (2014) até a temperatura de 200°C, apenas a água é removida do material. Entre 200 e 280°C são emitidos dióxido de carbono, ácido acético e água. A pirólise real da madeira, que ocorre entre 280 e 500°C, produz grandes quantidades de alcatrão e gases contendo dióxido de carbono e são esses subprodutos que irão formar a camada de combustível dispersa no ambiente disponível para combustão. Sendo assim, embora a temperatura obtida nas janelas adjacentes se apresente relativamente alta, aparentemente, não é suficiente para gerar um foco secundário de incêndio por meio da autoignição de sólidos combustíveis. Por definição, a autoignição trata-se de uma característica dos combustíveis de auto inflamar sem a necessidade de uma fonte ígnea direta em contato com o material, apenas por meio da elevação gradual da temperatura superficial.

Tabela 6.6 - Temperatura de autoignição de plásticos comuns

PLÁSTICO	TEMPERATURA DE AUTOIGNIÇÃO	
	°C *	°C
Polietileno	365	488
Poli-isociano	-	525
Polimetilmetacrilato	310	467
Polipropileno	330	498
Poliestireno	360	573
Politetrafluoretileno	-	660
Espuma Poliuretano (rígida)	-	456-579
Espuma Poliuretano (flexível)	-	498-565
Policloreto de vinila	-	507

Fonte: DE HAAN (p. 154, 2014)

* Valores obtidos por V. Babrauskas, *Ignition handbook* (p. 244, 2003) apud DE HAAN (2014)

De acordo com a Tabela 6.6, para que ocorra a autoignição de plásticos comuns, assim como na madeira, as temperaturas precisarão ser mais elevadas do que as medidas nas simulações numérica do caso I, ou seja, superior a 310 °C, de acordo com os valores obtidos por Babrauskas, *Ignition handbook* (p. 244, 2003) para a

temperatura de autoignição do polimetilmetacrilato. As temperaturas obtidas neste estudo são bem inferiores e, por isso, a probabilidade de **autoignição** de materiais combustíveis instalados junto às aberturas vizinhas da loja incendiada é muito pequena. A tabela 6.7 apresenta os valores máximos obtidos para as temperaturas e fluxo de calor nas aberturas adjacentes à loja incendiada para as três simulações computacionais realizadas para o caso hipotético I.

Tabela 6.7 - Máximos valores medidos de temperatura e fluxo de calor irradiado junto as aberturas adjacentes nas simulações hipotéticas do caso I

	500 MJ/m ²		800 MJ/m ²		1000 MJ/m ²	
Abertura	Fluxo de calor (kW/m ²)	Temperatura (°C)	Fluxo de calor (kW/m ²)	Temperatura (°C)	Fluxo de calor (kW/m ²)	Temperatura (°C)
Janela 1	1,79	139,88	3,42	185,00	3,72	202,55
Janela 4	2,04	153,00	4,85	196,84	6,10	209,16
Janela 6	1,37	141,77	2,57	190,87	3,17	200,74

Fonte: Autor

As máximas temperaturas medidas nas três simulações foram superiores a 150°C e inferiores a 210 °C como mostra a Tabela 6.7. De acordo com a Tabela 6.5 alguns materiais poliméricos fundiriam e outros iniciariam o processo de carbonização, tais como o algodão e a celulose. Esses efeitos térmicos são importantes o que torna provável a pirólise de sólidos combustíveis que em contato com fontes ígneas poderiam gerar foco secundário. Entretanto, de acordo com a Tabela 6.6, embora haja possibilidade de foco secundário, não se pode afirmar que haverá propagação horizontal do incêndio para as lojas vizinhas devido as temperaturas máximas medidas não serem suficiente para autoignir os materiais comumente encontrados em janelas e aberturas de edificações das classes de uso destas simulações.

Os fluxos de calor irradiados variam bastante entre as simulações, ou seja, o fluxo medido na simulação com 1000MJ/m² de carga de incêndio específica, 6,10 kW/m², é cerca de 3 (três) vezes maior que o valor medido para a carga de incêndio de 500MJ/m², 2,04 kW/m². Além disso, de acordo com a Tabela 6.8, o valor medido na simulação com 1000MJ/m², 6,10 kW/m², é suficiente para provocar queimaduras de 2º grau em pele sem proteção quando exposta por 10s. O crescimento acelerado do fluxo de calor em função da carga de incêndio sugere que esta variável possui papel importante nas condições de propagação horizontal de incêndio e deve ser considerada na parametrização das regras para definição dos afastamentos laterais

entre aberturas adjacentes de unidades autônomas vizinhas em normas brasileiras de compartimentação.

A Tabela 6.8 produzida por De Hann (2014) apresenta dados sobre as consequências de determinados fluxos de calor oriundo de fontes de calor conhecidas.

Tabela 6.8 - Condições para autoignição de combustíveis e consequências

Fonte de calor	Fluxo de calor radiante (kW/m ²)	Temperatura da superfície	Consequência
Sol em um dia quente de verão.	1	40°C	-
Lareira afastada	2-4	45°C	Dor após 30 s.
Lareira próxima	4-6	54°C	Dor após 8 ou 10s. Queimaduras de 2º grau.
Lareira mais próxima	10	100 – 150°C	Queima de alguns materiais e fusão de alguns termoplásticos.
Em frente a lareira	20	150 – 250°C	Alguns materiais celulósicos e sintéticos entram em ignição em até 60s.
Dentro da lareira	30	300 – 400°C	Autoignição de muitos líquidos combustíveis em até 30s. (Madeira após 60)
Nas chamas da lareira	50	400°C	Autoignição de aproximadamente todos os materiais em até 5s.
Após o “flashover”	120-150	>500°C	Combustão rápida.

Fonte: DE HAAN (p. 56, 2014)

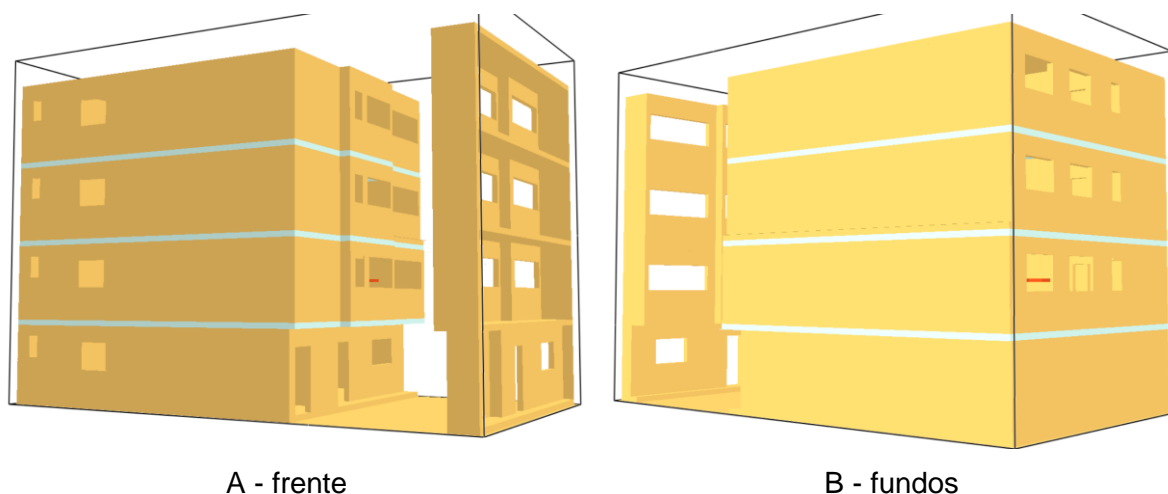
6.1.2. Simulação do caso II

6.1.2.1 Geometria

Para simulação do caso II, a arquitetura utilizada foi a que reproduzisse as condições de compartimentação horizontal conforme as regras para prevenir a propagação de incêndio entre duas edificações vizinhas. O referencial utilizado para elaboração do modelo hipotético foi a figura 2.8, obtida da IT 09/2018 (CBPMESP, 2018).

A concepção do modelo para ensaio seguiu a premissa de reproduzir um cenário que representasse a arquitetura de duas edificações vizinhas, verticalizadas, afastadas entre si, de forma que atendesse as prescrições normativas de compartimentação horizontal. A Figura 6.20 mostra a edificação escolhida como modelo para as simulações do caso II que, por meio da ferramenta de construção de obstáculos, OBST, do FDS, foi construída e representada.

Figura 6.20 - Geometria das edificações construídas para as simulações computacionais de incêndio do caso hipotético II



Fonte: Autor

Assim como previsto na IT 09/2018 de São Paulo, foi escolhida uma arquitetura para o modelo de forma que os afastamentos entre as fachadas atendessem o previsto na Tabela 3.3, ou seja, dependendo do percentual de abertura nas fachadas confrontantes, os afastamentos entre as edificações deveriam atender ao previsto na IT 09/2018 (CBPMESP, 2018). Para simulação computacional do caso II foi delimitado duas configurações de fachada, uma com 20 % e outra com até 50% de aberturas, que requerem 4 m e 7 m de afastamento entre edificações, respectivamente.

Os materiais utilizados na construção do edifício foram concreto e alvenaria de tijolo cerâmico. Assim como ocorreu no caso I, foi utilizado os valores parametrizados para caracterização dos materiais de construção empregados no modelo computacional representados na Tabela 6.2.

A Figura 6.21 apresenta uma imagem esquemática com as informações arquitetônicas do ambiente de incêndio do caso hipotético II. As paredes são em alvenaria e o teto e

As esquadrias da fachada foram escolhidas de forma que o percentual de abertura se enquadrassem no estipulado na tabela 3.3, ou seja, para o afastamento “D” igual a 4m entre fachadas o percentual deveria ser menor ou igual a 20 % e, para o afastamento “D” igual a 7 m o percentual deveria estar compreendido entre 40 e 50%. Para tanto, considerando a área de cobertura da fachada da edificação e respectivo percentual de abertura, as esquadrias foram dimensionadas conforme Tabela 6.9.

Tabela 6.9 - Quadro de esquadrias do modelo hipotético caso II

Quadro de esquadrias					
20% de aberturas na fachada			50% de aberturas na fachada		
Janelas	Larg.x Alt. x Peit.	área (m ²)	Janelas	Larg.x Alt. x Peit.	área (m ²)
J1	2,0x1,1x1,5m	2,20	J1	2,0x2,2x0,2m	4,40
J2	3,0x1,1x1,5m	3,30	J2	3,4x2,2x0,2m	7,48
J3	0,7x1,1x1,5m	0,77	J3	1,0x2,2x0,2m	2,20
J4	1,5x1,1x1,5m	1,65	J4	1,5x1,1x1,5m	1,65
J5	1,5x1,1x1,5m	1,66	J5	1,5x1,1x1,5m	1,66
J6	0,6x1,1x1,5m	0,66	J6	0,6x1,1x1,5m	0,66
J7	0,6x0,8x1,8m	0,48	J7	0,6x0,8x1,8m	0,48
J8	1,2x1,1x1,5m	1,32	J8	1,2x1,1x1,5m	1,32
J' (Esc)	Não se aplica	1,33	J' (Esc)	1,2x1,1x1,5m	1,32
Portas	Larg.x Alt.		Portas	Larg.x Alt.	
P1	1,0x2,1m	2,10	P1	1,0x2,1m	2,10
P2	0,8x2,1m	1,68	P2	0,8x2,1m	1,68

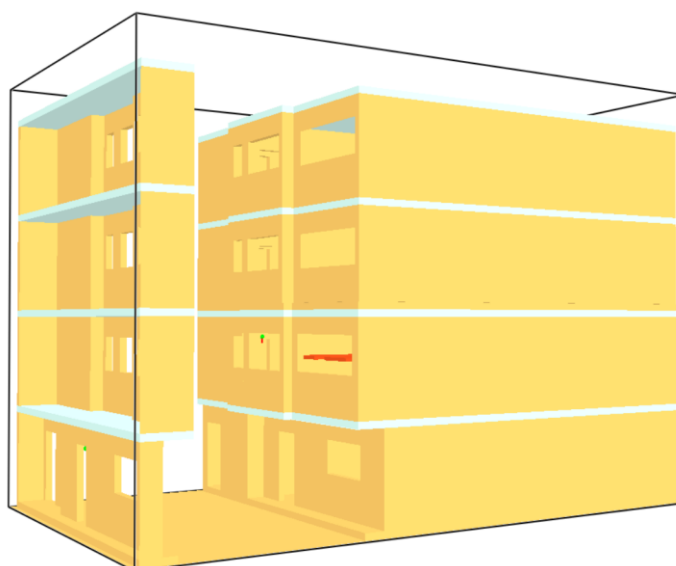
Fonte: Autor

A área da fachada do “pavimento tipo” é de aproximadamente 31,2 m², e a área total calculada para as janelas é de 6,2 m² e 15,4 m², o que significa 19,9% e 49,35 % percentual de abertura nas fachadas dos dois modelos, respectivamente. Uma vez que a edificação confrontante possui a mesma arquitetura da edificação que contém o foco de incêndio e, as aberturas no pavimento térreo seguem o mesmo critério de dimensionamento do “pavimento tipo”, os modelos atendem as prescrições da distância entre as fachadas prevista no item 5.2.8 da IT 09/2018 (CBPMESP, 2018) e se enquadram dentro das delimitações de até 20% e; de 40% a 50% de taxa de abertura nas fachadas, respectivamente.

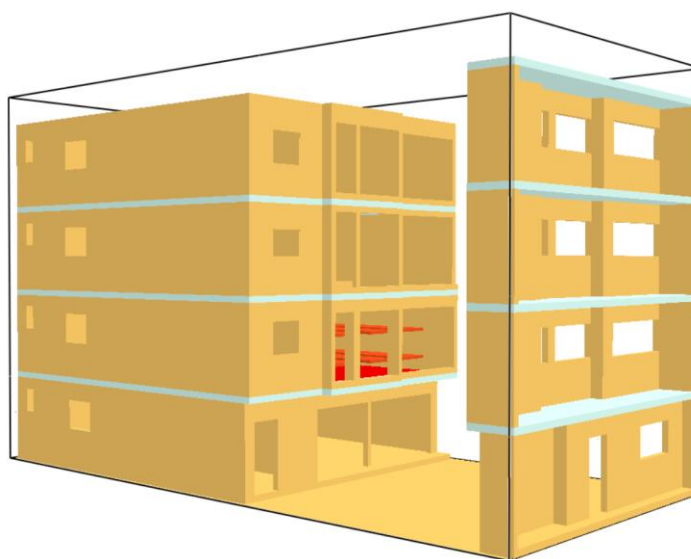
Uma vez iniciado, o incêndio demanda combustível e comburente. O combustível é garantido pela carga de incêndio existente no ambiente e o comburente é fornecido por meio das aberturas existentes no compartimento. Além disso, essas aberturas tem

relação direta com a propagação horizontal do incêndio para edificações vizinhas pois, por meio delas as chamas e a fumaça deixam os compartimentos e o calor irradiado do incêndio é emitido na direção das aberturas das edificações vizinhas. Por esse motivo, a IT 09/2018 parametrizou os afastamentos de segurança entre edificações em função da taxa de abertura da fachada. O percentual de abertura da fachada é obtido por meio do quociente entre a soma das áreas das aberturas das fachadas confrontantes e a soma da área superficial das duas fachadas. O referencial é a área superficial total das fachadas, o que permite ao projetista livre escolha para determinar a localização das aberturas e suas dimensões.

Figura 6.22 - Leiaute das fachadas dos modelos do caso hipotético II



(a) 19,9% de taxa de abertura



(b) 49,3% de taxa de abertura

Fonte: Autor

Sendo assim, dependendo da solução arquitetônica escolhida pelo projetista, embora o percentual de abertura da fachada esteja definido em norma, é possível que no compartimento de incêndio o percentual de abertura da fachada da unidade autônoma seja superior ao percentual adotado para toda a edificação pois, as janelas são instaladas, preferencialmente, em ambientes com uso/ocupação permanente de pessoas. Por esse motivo, com objetivo de se reproduzir a condição mais desfavorável à compartimentação horizontal de incêndio, dentro das delimitações da IT 09/2018, foi escolhida a arquitetura na fachada que representasse maior taxa de abertura na parede do compartimento de incêndio e reproduzisse, hipoteticamente, a pior condição de compartimentação. Portanto, a taxa de abertura das fachadas dos compartimentos de incêndio nas duas simulações numéricas de incêndio do caso II foi de aproximadamente 30% e 85% para os casos de 19,9% e 49,35% de abertura total da fachada da edificação, respectivamente.

A distância mínima entre as fachadas do modelo computacional está representada por “D” na Figura 6.21 e, a Figura 6.22 mostra as duas fachadas escolhidas para a simulação computacional de incêndio.

6.1.2.2 Distribuição da carga de incêndio

De acordo com a Tabela 6.1 a carga de incêndio específica escolhida para as simulações do caso II é de 700 MJ/m², carga de incêndio estipulada para prédio de escritórios prevista no anexo A da IT 14/2019 (CBPMESP, 2019). Da mesma forma que foi realizado para as simulações do caso I, foi utilizado a metodologia denominada “equivalente em madeira” para distribuição da carga de incêndio no interior do escritório localizado no 2º pavimento tipo, a 3 m de altura do terreno circundante. A madeira utilizada possui características de queima mostrada na Tabela 6.1, e sua massa foi tal que pudesse reproduzir a quantidade de energia estipulada para os ensaios de simulação computacional, 700MJ/m². A Tabela 6.10 mostra de forma simplificada a memória de cálculo para determinação da massa e dimensões dos elementos de madeira utilizados para distribuição da carga de incêndio no interior do escritório localizado no 2º pavimento da edificação representada na Figura 6.21.

Tabela 6.10 - Determinação da massa de madeira equivalente para distribuição da carga de incêndio específica de 700 MJ/m² no escritório

		Valor	Unid
Características físicas da madeira	Densidade¹	369,60	kg/m ³
	Potencial Calorífico¹	17,90	MJ/kg
	Carga de incêndio	45728,69	MJ
Características geométricas por ripa	Largura	1,20	m
	Comprimento	9,60	m
	Espessura	0,10	m
	Volume	1,152	m ³
Total	Área do escritório	65,70	m ²
	Quantidade total de ripas	6,00	
	Carga inc. específica	696,55	MJ/m ²

¹ Conforme dados obtidos por Andrade (2018).

Fonte: Autor

Figura 6.23 - Geometria do caso II, distribuição da carga de incêndio 700 MJ/m²



a) Vista dos fundos da distribuição da carga de incêndio



b) Vista lateral da distribuição da carga de incêndio

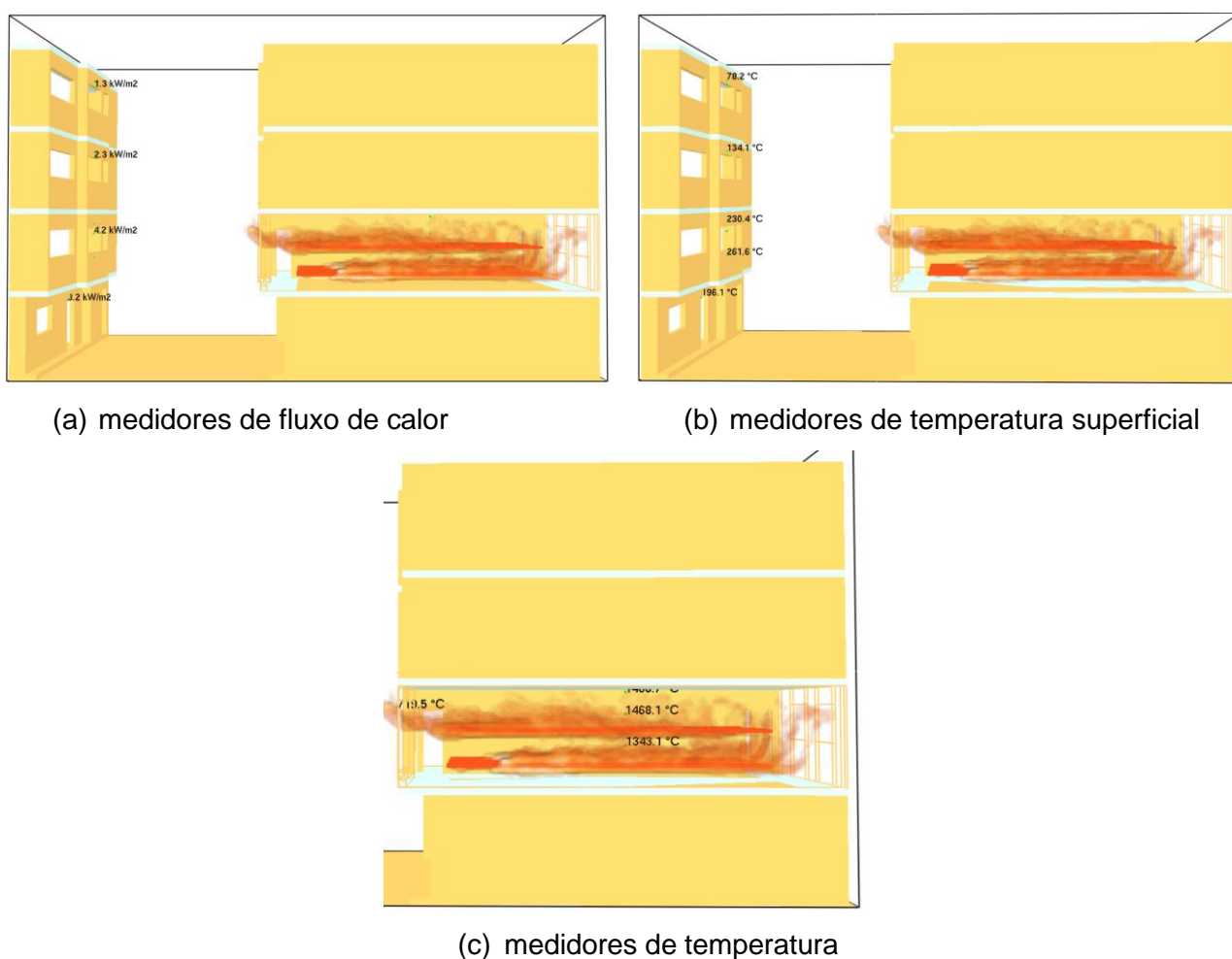
Fonte: Autor

Os elementos de madeira foram distribuídos no interior do escritório, conforme mostra a Figura 6.23. Eles foram instalados centralizados, em grupo de 3 por camada, afastados 1 m entre si, e as camadas afastadas a 0,8 m do piso acabado e 0,80 m entre elas, num total de 6 (seis), com dimensões especificadas na Tabela 6.10. Logo embaixo das madeiras foi instalado um “heater” (aquecedor) representado pela cor vermelha sobre o piso acabado do escritório, no segundo pavimento.

6.1.2.3 Dispositivos de medição

Foram instalados dispositivos de medição em posições estratégicas em cada modelo conforme Figura 6.21. A Figura 6.24 mostra os dispositivos instalados no modelo com 49,35% de aberturas na fachada durante a simulação computacional.

Figura 6.24 - Dispositivos de medição no caso II, modelo com 49,3% de abertura de fachada



Fonte: Autor

No interior do ambiente de incêndio, escritório, foi instalado uma árvore de medição com três termopares a 1 m, 2 m e 2,7 m acima do piso acabado e um termopar na

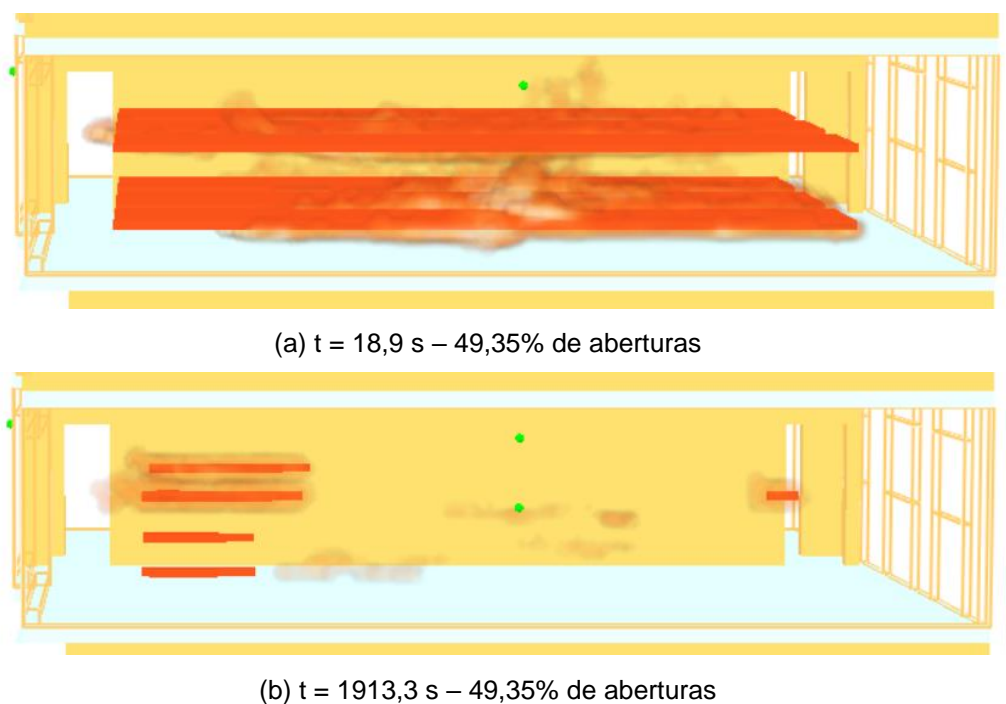
janela frontal do escritório, junto a verga da abertura conforme Figura 6.24c. Na edificação confrontante, a uma distância “D”, foram instalados dispositivos denominados “wall temperature”, capazes de medir a temperatura da parede da edificação. Estes dispositivos foram posicionados na parede do edifício vizinho confrontante junto às janelas. A Figura 6.24b mostra a posição onde foram instalados os dispositivos de medição da edificação vizinha, bem como o valor medido da temperatura em um instante “t” durante uma das simulações computacionais.

Além das temperaturas também foram instalados dispositivos para medição do fluxo de calor na fachada do edifício confrontante, e posicionados junto à abertura das janelas na parede. A Figura 6.24a mostra a posição destes dispositivos, e o valor medido, num instante “t”, durante uma das simulações computacionais.

6.1.2.4 Tempo de Simulação

A Figura 6.25 mostra o consumo da madeira durante a simulação computacional. Após cerca de 1915s de simulação a carga de incêndio de 700MJ/m^2 havia sido totalmente consumida.

Figura 6.25 - Consumo da madeira durante a simulação numérica de incêndio no escritório do 2º pavimento



Fonte: Autor

Foi delimitado um tempo total de simulação de dois mil e cem segundos (2100 s), a fim de garantir que o incêndio ultrapassasse o pico de energia gerado pela combustão total da carga de incêndio. Isso foi possível confirmar por meio do comportamento das curvas de temperatura do incêndio, e pelas as imagens de consumo da madeira ao longo do tempo geradas pelo “Smokview”. A figura 6.25 mostra as condições da massa da madeira no início (a) e no fim da simulação (b).

6.1.2.5 Definição da malha para a simulação

Com o intuito de balancear a precisão e o custo computacional, nas simulações numéricas do caso II, foram utilizadas malhas com dois tamanhos distintos: malha mais refinada, com dimensões 0,1 m x 0,1 m x 0,1 m; e malha de refinamento médio, com dimensões 0,2 m x 0,2 m x 0,2 m.

A malha mais refinada foi utilizada no escritório do 2º pavimento, que recebeu a carga de incêndio da simulação computacional, numa área de aproximadamente 66 m². Essa malha partiu do teto do primeiro pavimento, se estendeu por todo o vão do escritório, e terminou exatamente sobre o piso do 3º pavimento, num total de 282.880 elementos. Todas as demais áreas da simulação receberam malha de refinamento médio, partindo da cota de 0,0 m a 13,0 m de altura, perfazendo um total de 349.552 elementos. Todo o volume de simulação foi delimitado pelo prisma de coordenadas (-0,2;-0,2;-0,2) e (21,4;10,6;13,0).

6.1.2.6 Posicionamento do “Heater”

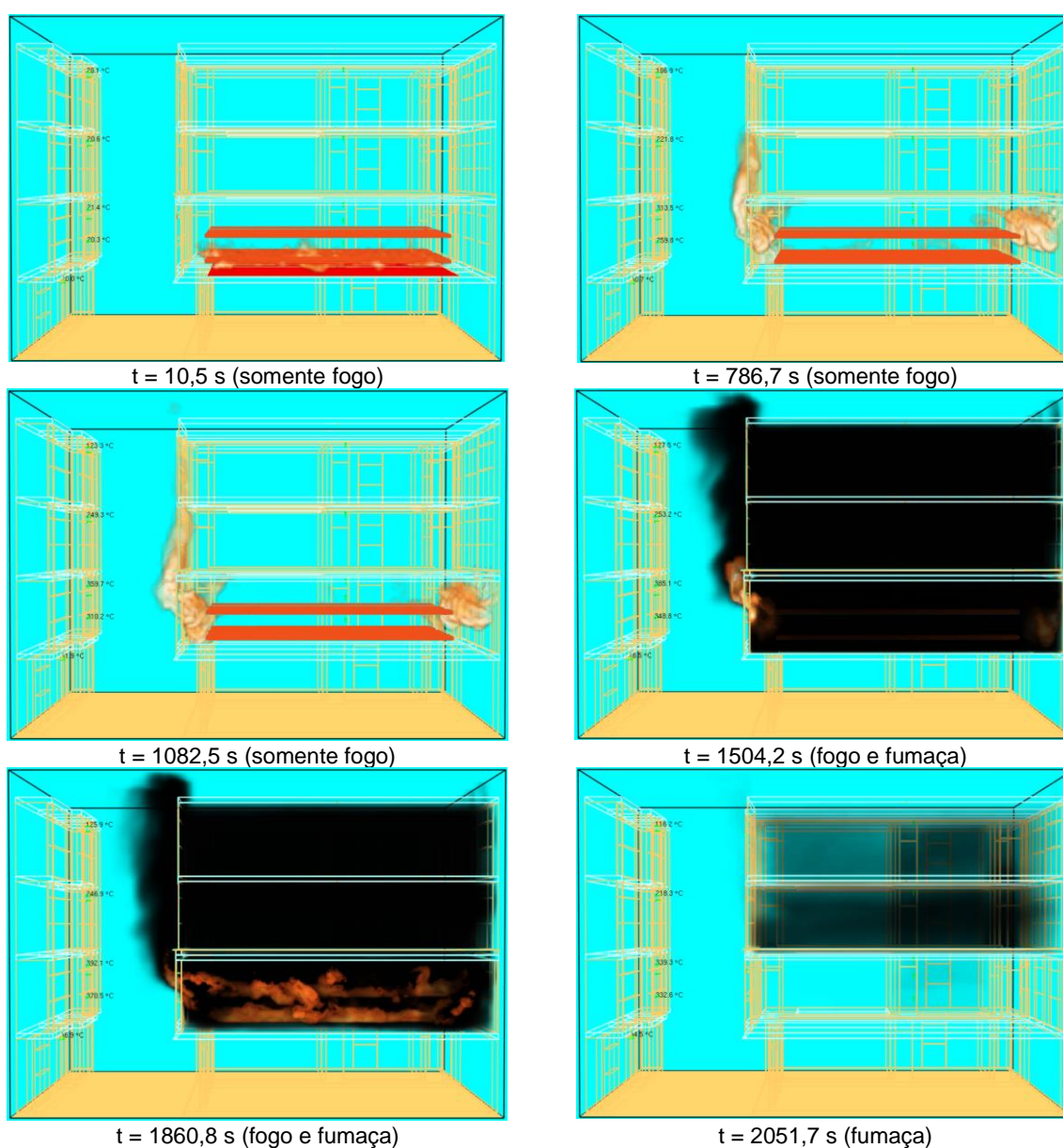
O “Heater” foi posicionado sobre o piso do escritório no 2º pavimento, embaixo dos seis elementos de madeira. Um dispositivo denominado “TIMER” foi utilizado como controlador do “Heater” para mantê-lo ligado por quinze segundos e desligá-lo em seguida. Na figura 6.23 o “Heater” é representado pela cor vermelha logo abaixo dos elementos de madeira que, quando desligado, muda sua coloração e não é mais identificado na imagem.

6.1.2.8 Resultados

As simulações computacionais para o caso hipotético II foram realizadas com duas configurações de taxa de aberturas na fachada, 19,9% e 49,35%. A escolha da arquitetura foi realizada com o intuito de avaliar se as regras de afastamento horizontal

entre edificações vizinhas são suficientes para garantir a compartimentação horizontal prevista em norma. Para tanto, foi instalado um foco de incêndio no interior do escritório do segundo pavimento de uma edificação vertical de quatro pavimentos cuja janelas na fachada possuíam a taxa de abertura em acordo com o afastamento frontal para edificação mais próxima, ou seja, até 20%, afastamento de 4 m e, de 40 a 50%, afastamento de 7 m. As Figuras 6.26 e 6.27 mostram o comportamento do incêndio durante a simulação computacional para as duas configurações.

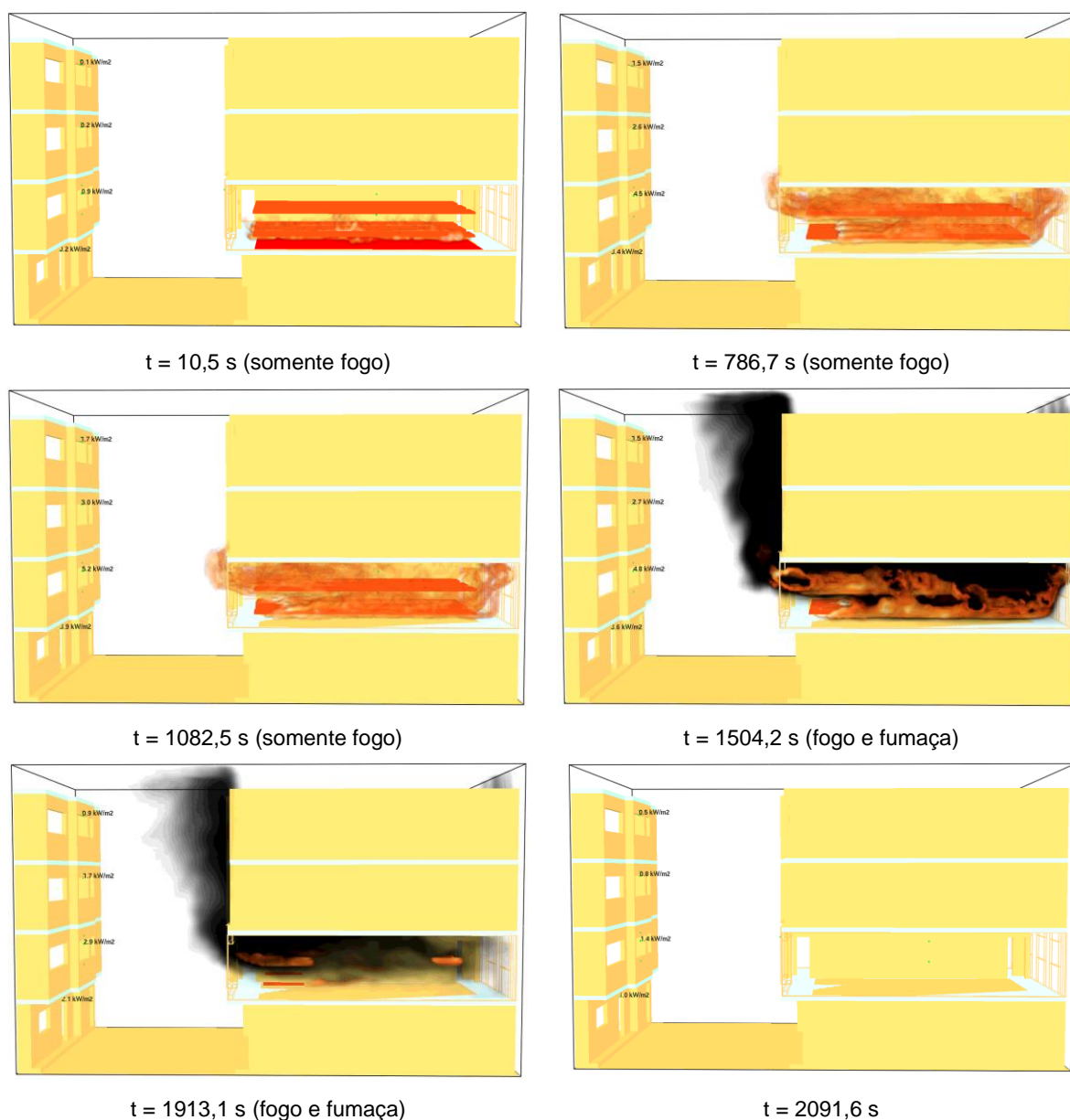
Figura 6.26 - Imagens de simulação computacional de incêndio em compartimento no 2º pavimento de edificação com 19,9% de aberturas na fachada



Fonte: Autor

As Figura 6.26 e 6.27 mostram os as imagens da simulação numérica de incêndio no escritório do 2º pavimento. As figuras foram obtidas das imagens produzidas pelo “Smoview” e separadas em imagens de somente fogo, e fogo e fumaça.

Figura 6.27 - Imagens de simulação computacional de incêndio em compartimento no 2º pavimento de edificação com 49,3% de aberturas na fachada



Fonte: Autor

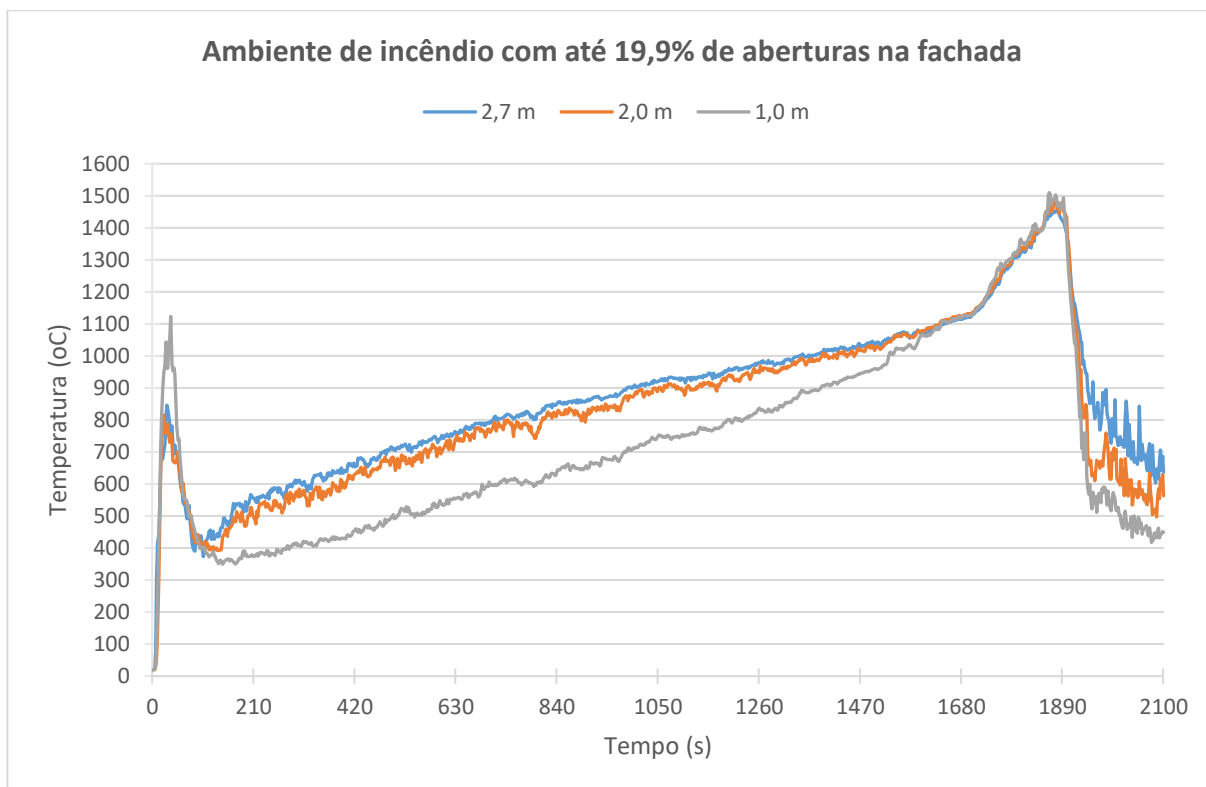
O custo computacional das duas simulações numéricas de incêndio foi similar, e o tempo demandado pelo FDS para gerar dados de uma simulação numérica de incêndio com 2100s foi de aproximadamente 12 dias e 20 horas para a configuração arquitetônica com 19,9% de aberturas na fechada e, de 13 dias e 4 horas na

configuração com 49,35% de aberturas na fachada, isso em um computador com processador Intel® Core™ i7-7700 CPU @ 3.60 GHz 3.6 GHz, memória RAM de 16 GB e sistema operacional 64 bits, processador com base x64.

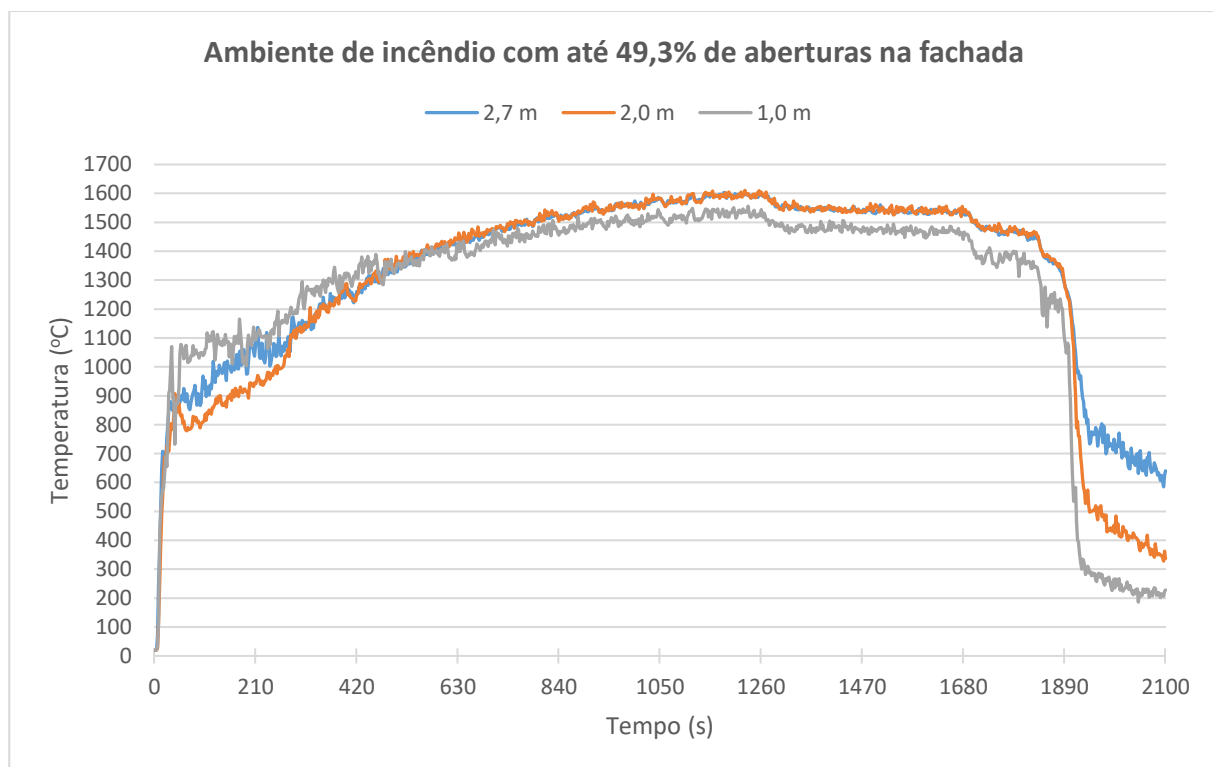
Apesar de possuírem a mesma carga incêndio distribuída em plantas idênticas, o incêndio se comportou de maneira distinta nas duas simulações computacionais. Na configuração com 19,9% de aberturas na fachada, mesmo com uma considerável oferta de oxigênio, as temperaturas no interior do compartimento evoluíram de forma mais lenta que na configuração com 49,35%. Efetivamente, as aberturas com taxa menor dificultaram a saída de fumaça, e limitaram a oferta de oxigênio reduzindo as “chamas” no interior do pavimento, provocando a redução das temperaturas. No início, na medida que o material combustível foi sendo consumido, a quantidade de fumaça gerada inundou o compartimento, impedindo o ingresso de mais oxigênio no ambiente, o que empurrou as chamas para abertura junto a fachada do prédio. Somente com a evolução do incêndio e o consumo da carga de incêndio que o volume de fumaça reduziu, permitindo a entrada de oxigênio no interior do compartimento, e o consequente recuo das chamas da fachada para o interior, o que elevou as temperaturas do incêndio ao longo do tempo.

Em contrapartida o comportamento das temperaturas na configuração de 49,35% de aberturas foi mais severo. A oferta de oxigênio, desde o começo da simulação, foi abundante devido as grandes aberturas na fachada da edificação, o que permitiu a ocorrência de chamas no interior do compartimento durante todo o ensaio. A presença das chamas evidencia a combustão completa dos compostos oriundos da pirólise da madeira, gerando grande quantidade de energia, e consequentemente, elevação da temperatura no compartimento. A Figura 6.28 “a” e “b” mostram os resultados das temperaturas medidas no compartimento de incêndio durante as simulações numéricas de 19,9% e 49,35%, respectivamente.

Figura 6.28 - Comportamento das temperaturas no interior do compartimento de incêndio



(a)

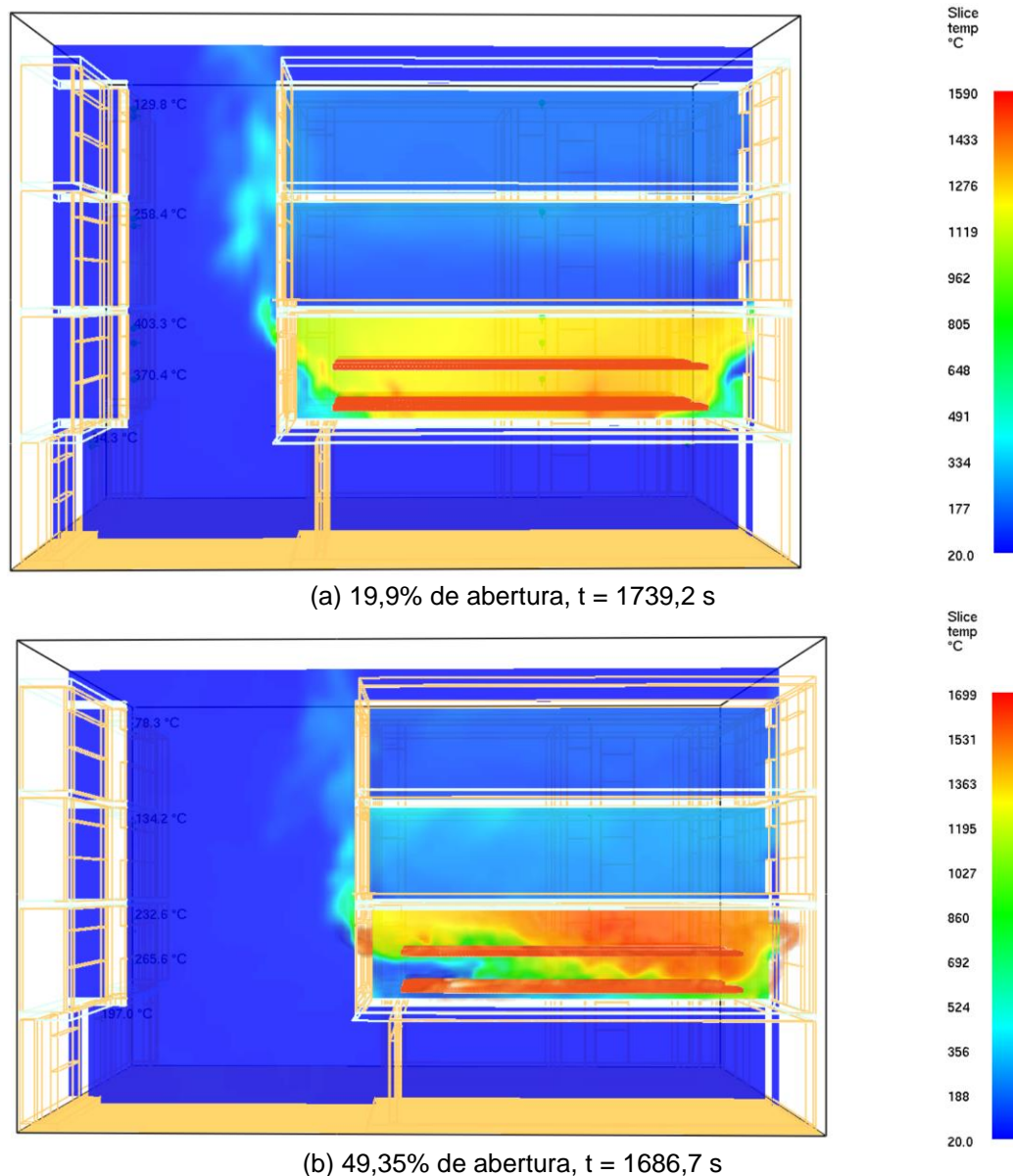


(b)

Fonte: Autor

A Figura 6.29 mostra a distribuição das temperaturas no interior do compartimento numa seção longitudinal do compartimento, obtida por meio do “SLICE”. Assim como ocorreu na simulação do caso I, as temperaturas se apresentaram de maneira heterogênea e, dependendo das condições de ventilação, o gradiente entre o menor e o maior valor da temperatura dos fluidos foi muito elevado.

Figura 6.29 - Distribuição das temperaturas no interior do compartimento na direção longitudinal



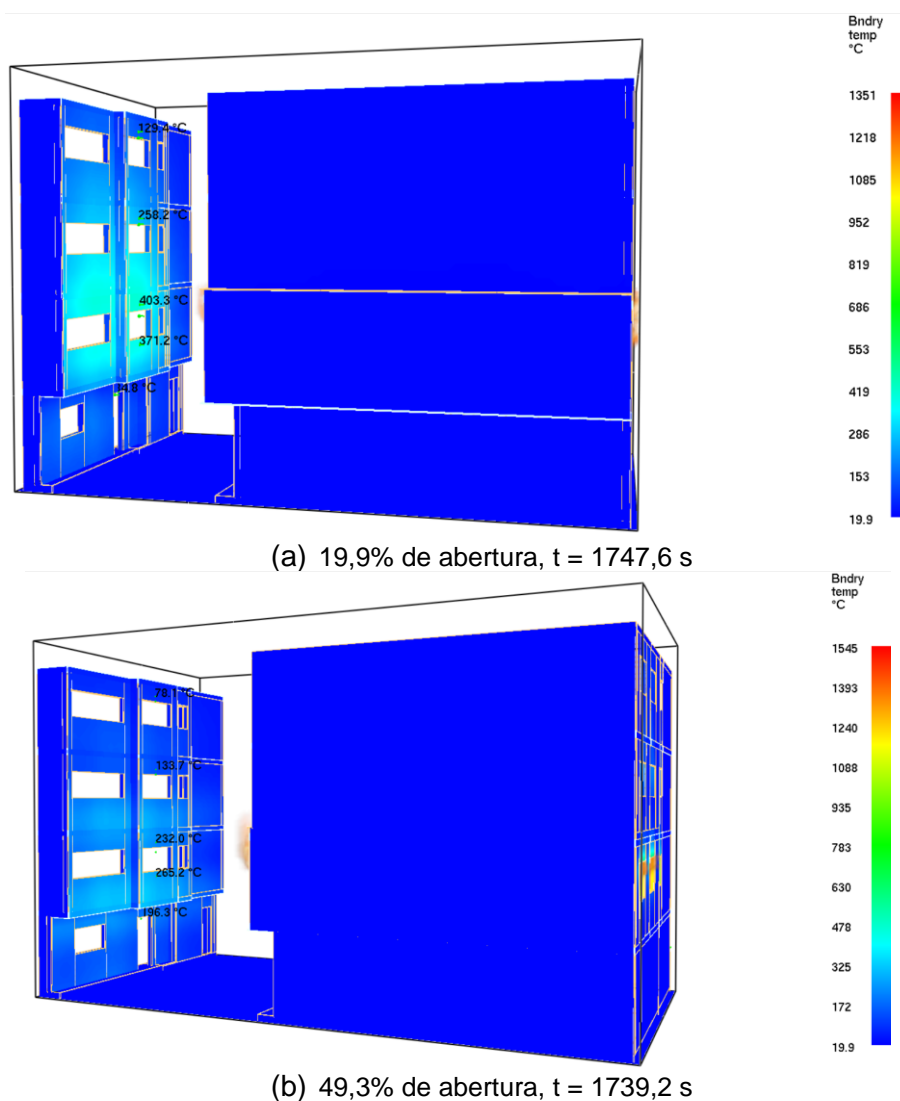
Fonte: Autor

No entanto, para efeito de dimensionamento das estruturas, o valor a ser considerado para o carregamento de incêndio deve ser a temperatura superficial no ponto de instalação das peças estruturais no interior do compartimento. Isso é necessário porque a temperatura medida na superfície de sólidos depende da taxa de

absortividade radiativa do material que, na maioria das vezes, é maior nos sólidos do que nos fluidos. O FDS possui uma ferramenta para medir o valor da temperatura superficial de sólidos (WALL TEMPERATURE), considerando a taxa de absorvidade do material para determinar sua temperatura. Este dispositivo não mede o comportamento da temperatura no interior do sólido, porém fornece o valor superficial da temperatura, que pode ser utilizado como dado de entrada para softwares de análise estrutural com base em métodos de elementos finitos tais como o “ANSYS” e o “ABAQUS”.

Com o intuito de medir a temperatura superficial na fachada da edificação confrontante, foram instalados dispositivos conforme mostra a Figura 6.30, cujos valores indicados referem-se às temperaturas medidas num instante “t” determinado.

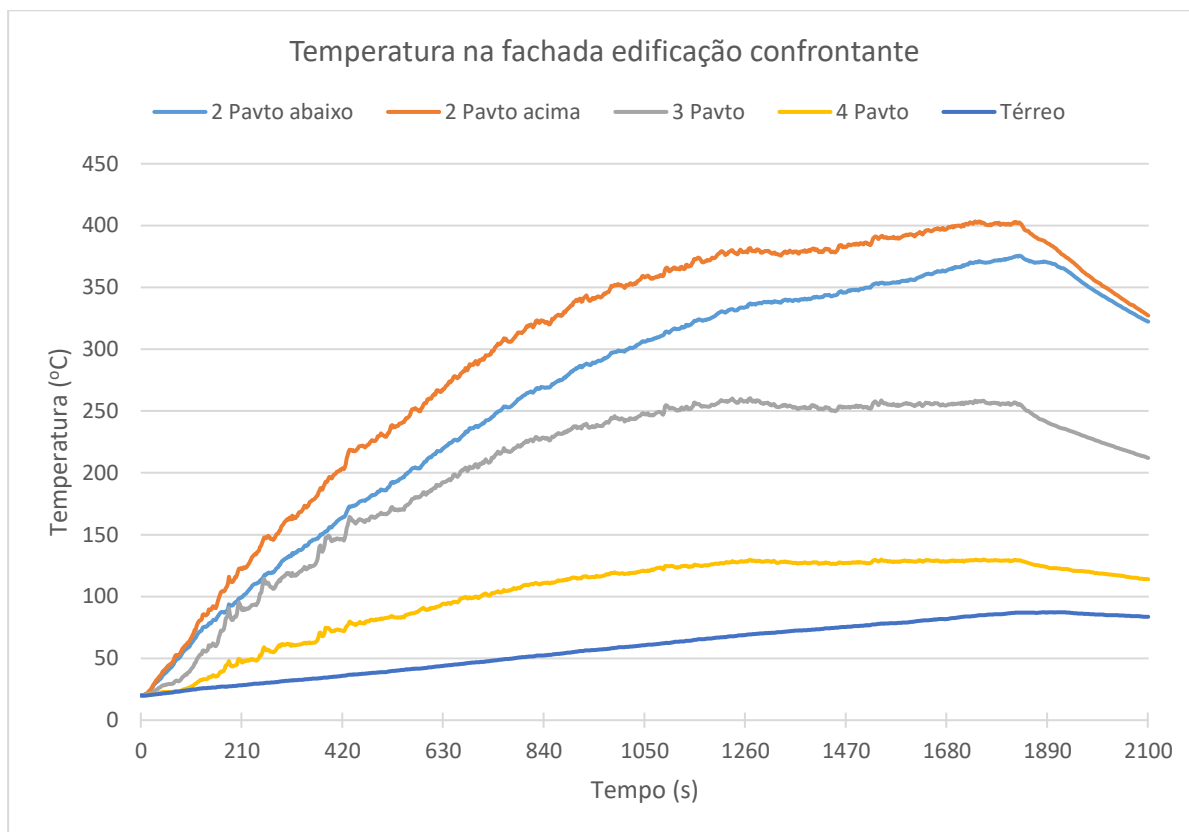
Figura 6.30 - Distribuição da temperatura superficial nas fachadas dos modelos do caso II



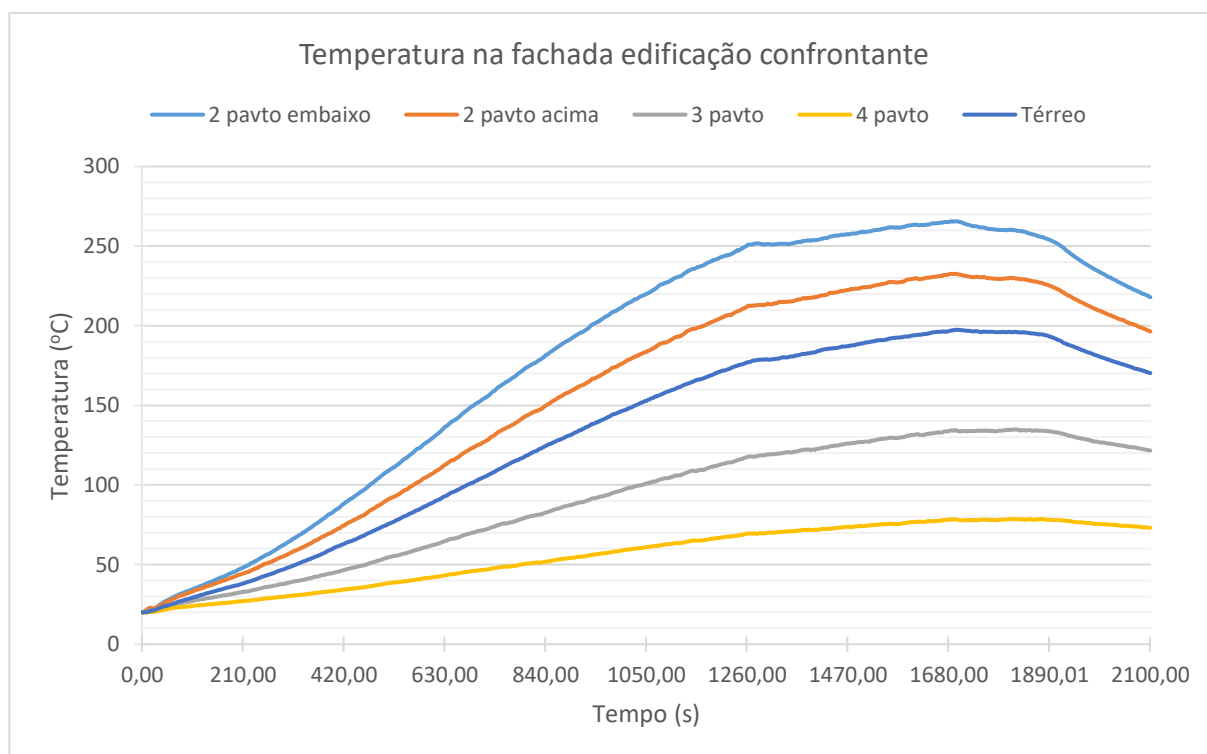
Fonte: Autor

O afastamento entre as fachadas confrontantes na configuração 19,9% de aberturas é de 4 m e foi verificado que as temperaturas medidas foram superiores às medidas na configuração de 49,35%, cujo afastamento é de 7 m entre fachadas. Embora os afastamentos entre as edificações sejam iguais ao previsto em norma, as temperaturas medidas na superfície da fachada confrontante são relativamente altas, e dependendo dos materiais utilizados junto às aberturas na fachada poderá ocorrer a autoignição deles com consequente propagação do incêndio para os ambientes. Além disso, os valores máximos das temperaturas medidas nas proximidades da janela do 2º pavimento da edificação vizinha no primeiro caso (19,9%) foram superior a 400°C, o que é suficientemente alta para provocar a pirólise e a autoignição da madeira utilizada nas simulações computacionais deste estudo e, consequentemente, gerar um foco secundário de incêndio na edificação. As Figuras 6.31 e 6.33 mostram os gráficos com os valores medidos para as temperaturas e fluxo de calor nas fachadas confrontantes das duas simulações computacionais de incêndio.

Figura 6.31 - Comportamento das temperaturas na fachada das edificações confrontantes



(a) 19,9% de taxa de abertura

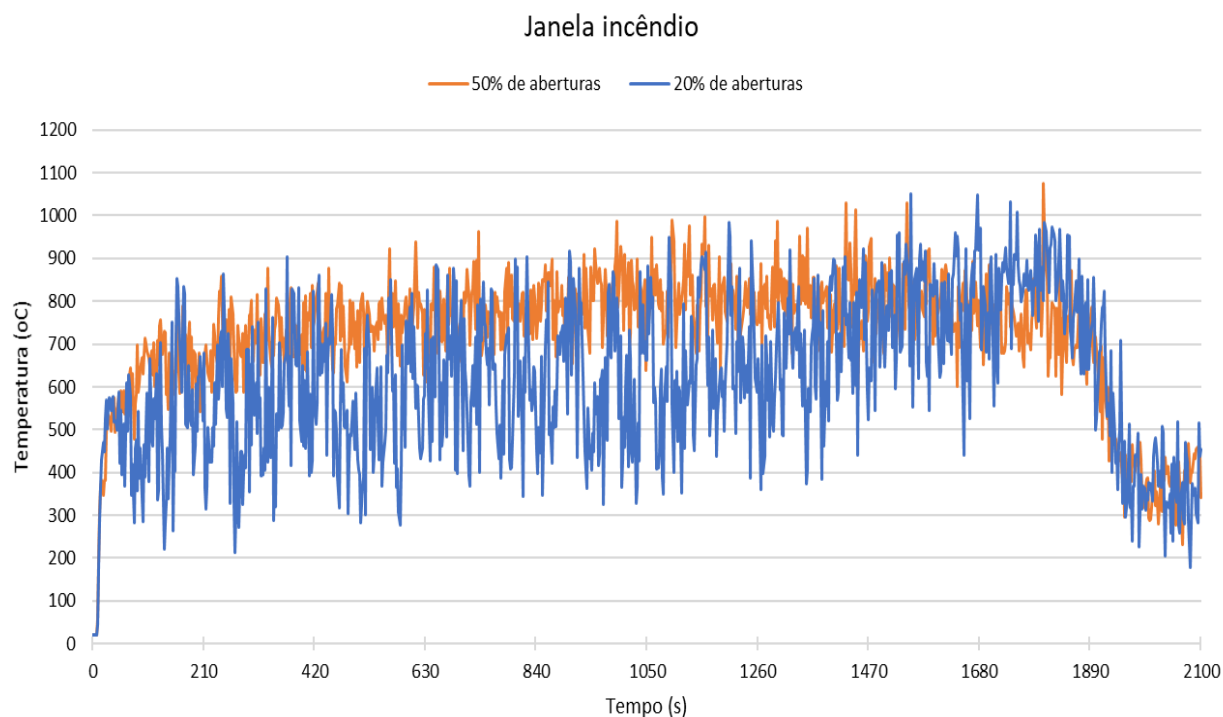


(b) 49,3% de taxa de abertura

Fonte: Autor

Foi verificado que as temperaturas na janela do escritório incendiado nas duas simulações, no que diz respeito aos valores máximos medidos, foram muito semelhantes, ou seja, a taxa de abertura pouco influenciou na temperatura máxima medida junto à verga da janela. A Figura 6.32 compara as temperaturas medidas na janela do ambiente sinistrado nas duas simulações.

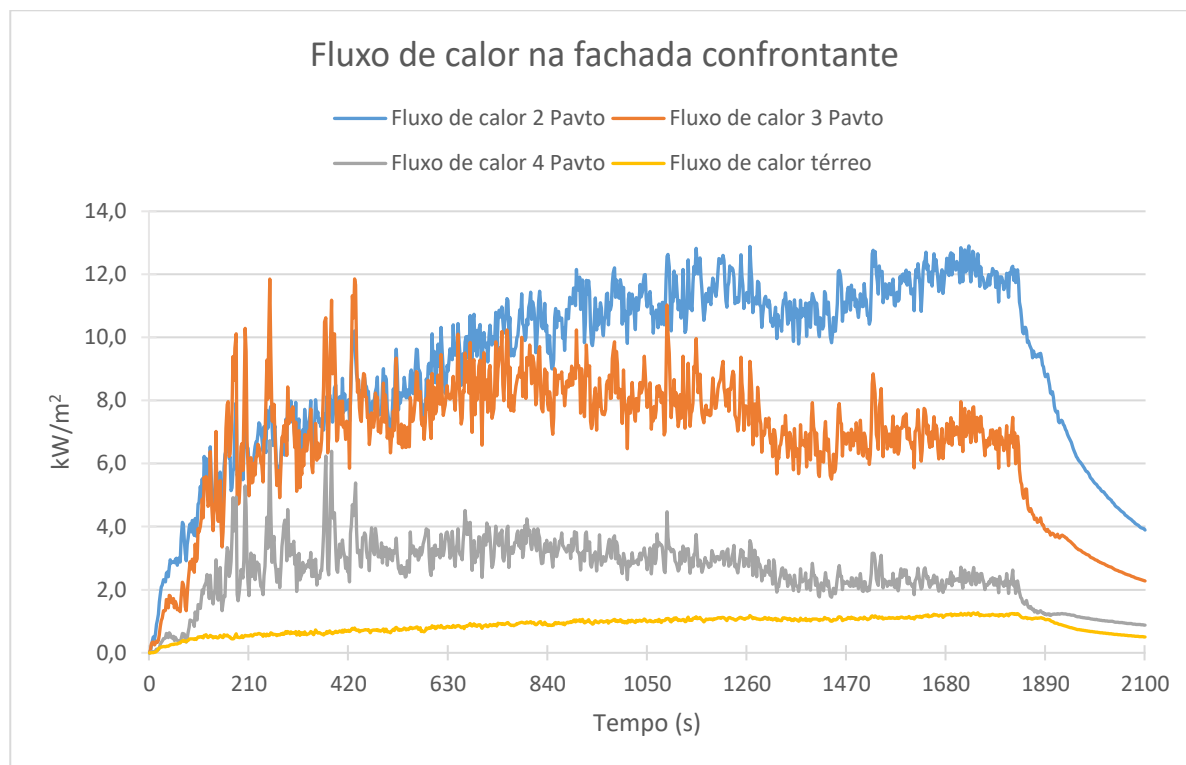
Figura 6.32 - Temperatura medida na saída da janela de incêndio do 2º pavimento



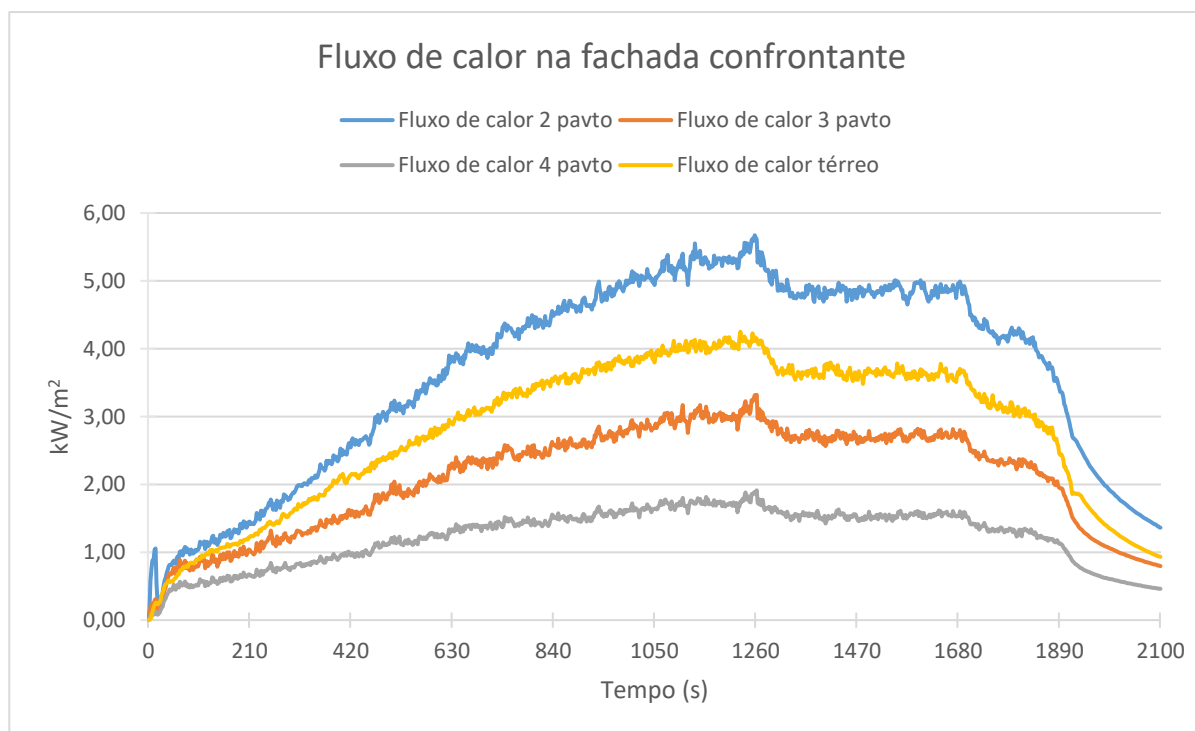
Fonte: Autor

Outra variável importante para o estudo é o fluxo de calor na fachada da edificação confrontante. A Figura 6.33 mostra os valores medidos ao longo do tempo para o fluxo de calor irradiado nas duas configurações do caso II. Os valores medidos em ambos modelos foram relativamente altos e podem fornecer energia suficiente para iniciar um foco secundário de incêndio, ou causar dano a uma pessoa nas proximidades das aberturas. Além disso o fluxo de calor medido na simulação com 19,9% de aberturas foi muito superior aos valores medidos na simulação com 49,35%.

Figura 6.33 - Fluxo de calor na fachada das edificações confrontantes



(a) 19,9% de taxa de abertura



(b) 49,3% de taxa de abertura

Fonte: Autor

A Tabela 6.11 mostra os valores máximos medidos nas simulações computacionais junto as aberturas da fachada confrontante para a temperatura e fluxo de calor

irradiado nas duas configurações do caso II. Os dispositivos foram instalados conforme mostra a Figura 6.21.

Tabela 6.11 - Máximos valores medidos de temperatura e fluxo de calor irradiado

	19,9% de aberturas		49,35% de aberturas	
Piso	Fluxo de calor (kW/m ²)	Temperatura (°C)	Fluxo de calor (kW/m ²)	Temperatura (°C)
Térreo	1,27	87,3	4,25	197,6
2º pavimento	12,90	375,7	5,67	265,6
		403,3		232,6
3º pavimento	11,86	260,3	3,32	134,9
4º pavimento	6,73	129,9	1,91	78,7

Fonte: Autor

A partir dos resultados medidos nas duas simulações, foi verificado que na fachada confrontante:

- as temperaturas e o fluxo de calor medidos obtiveram valores relativamente elevados;
- as temperaturas foram maiores no segundo pavimento das duas simulações;
- a configuração de 20% de abertura apresentou os maiores valores medidos para fluxo de calor e temperatura por pavimento.
- o fluxo de calor medido apresentou comportamento diferente entre as duas configurações. Na configuração de 19,9% os maiores valores foram medidos no 2º e 3º pavimentos e na configuração de 49,35% no térreo e 2º pavimento.

No que diz respeito à propagação de incêndio para a edificação confrontante, com base nos valores obtidos nas simulações, foi verificado que as temperaturas e fluxo de calor medido no 2º e 3º pavimentos da simulação com 19,9% de abertura são suficientes para gerar um foco secundário de incêndio na edificação vizinha. Já na configuração com 49,35% os resultados foram inconclusivos pois, apesar das temperaturas serem relativamente altas, os valores de referência não são absolutos quanto a autoignição dos materiais combustíveis prováveis de serem encontrados nas aberturas da fachada da edificação vizinha. No entanto, os efeitos do calor no ser humano são evidentes e as temperaturas e fluxo de calor são suficientes para provocar danos à pele humana tais como queimaduras de 2º grau. As Tabelas 6.5, 6.6, 6.8, 6.12 e 6.13 relacionam os valores de temperatura e fluxo de calor em sólidos com as consequências em materiais combustíveis e ser humano.

A Tabela 6.5 mostra os efeitos da temperatura em materiais sólidos poliméricos como o algodão, a celulose, os polímeros termoplásticos e termofixos. Ela foi produzida por De Haan (2014) que usou como fonte Drysdale (2006). Verifica-se na tabela que os polímeros, na sua maioria, possuem pontos de fusão inferiores a 200°C. Das possibilidades de materiais a serem utilizados na fachada da edificação confrontante, os polímeros são opções válidas para serem empregados em cortinas, esquadrias e ornamentos e, considerando as temperaturas medidas por meio das simulações computacionais deste estudo, existe uma alta probabilidade do incêndio da edificação principal gerar consequências nos materiais da edificação vizinha, tais como fusão, carbonização e autoignição destes materiais.

A Tabela 6.6 produzida por De Haan (2014) relaciona as temperaturas necessárias para autoignição de plásticos combustíveis. Com base nos valores encontrados por Babrauskas indicado na tabela de De Haan, caso os plásticos listados na Tabela 6.8 sejam utilizados na fachada da edificação confrontante, considerando as temperaturas medidas no 2º e 3º pavimentos na simulação com 19,9% de aberturas na fachada, pode se afirmar que haverá um foco secundário na fachada confrontante devido à autoignição do material combustível, instalado nas aberturas, resultando na propagação horizontal do incêndio para edificação vizinha. Isso, no entanto, não ocorre para a simulação computacional com 49,35% de aberturas, uma vez que a temperatura máxima medida na fachada foi de 265,6°C.

As Tabelas 6.8, 6.12 e 6.13 relacionam os níveis de fluxo de calor e temperaturas com as consequências para combustíveis e seres humanos. Na Tabela 6.8, De Hann (2014) correlaciona fonte de calor com o fluxo de calor gerado, temperatura e os seus efeitos. Tomando a lareira como fonte de calor, combustível similar ao utilizado nas simulações, percebe-se que para fluxos superiores a 10 KW/m², as temperaturas geradas são em torno de 150°C com efeito direto de fusão de polímeros.

Em paralelo, Lawson (2009), nas Tabelas 6.12 e 6.13 mostra que com temperaturas de 250°C o algodão se carboniza e o fluxo de calor de 12kW/m² é suficiente para provocar a pirólise da madeira. Ainda sobre as conclusões de Lawson (2009) na Tabela 6.13 ele apresenta que para fluxos maiores ou iguais 4,5 kW/m² a pele humana sem proteção sofre queimaduras de 2º grau e danos.

Tabela 6.12 - Temperatura e sua consequência para o ser humano

Temperatura (°C)	Consequência
37	Temperatura normal do ser humano
38	Temperatura interna corporal típica de um bombeiro quando trabalhando.
43	Temperatura interna corporal humana que pode causar morte.
44	Temperatura da pele humana quando começa a sentir dor.
48	Temperatura da pele humana causando queimadura de 1º grau.
54	Temperatura da água quente que pode causar uma queimadura em 30 segundos.
55	Temperatura da pele humana com bolhas e queimadura de 2º grau.
62	Temperatura quando o tecido humano se torna entorpecido.
72	Temperatura quando o tecido humano é imediatamente destruído.
100	Temperatura quando a água ferve e torna-se vapor.
250	Temperatura quando o algodão natural começa a carbonizar.
>300	Temperatura quando os tecidos sintéticos das roupas de proteção começam a carbonizar.
≥400	Temperatura dos gases em um ambiente quando o incêndio começa a se generalizar.
≈1000	Temperatura dentro de um ambiente quando da ocorrência da generalização do incêndio.

Fonte: LAWSON (2009) apud BRAGA (2016)

No que diz respeito ao fluxo de calor medido nas simulações computacionais do caso II, eles apresentaram valores superiores a 4,5 kW/m² nos dois modelos, ou seja, qualquer pessoa na janela da edificação confrontante sofreria queimaduras de 2º grau nos dois ensaios. Além disso, no modelo com 19,9% de aberturas, segundo a Tabela 6.13 haveria pirólise da madeira se esta estivesse instalada nas aberturas da fachada, por exemplo, como esquadria. Já a Tabela 6.12 fornece subsídios para afirmar que cortinas a base de algodão sofreriam carbonização na simulação com 49,35% de aberturas. A carbonização trata-se de reduzir a carvão, queima lenta (DE HAAN, ICOVE, p. 46, 2014). Sendo assim, é provável que ocorra foco secundário, porém, uma vez que não há temperatura suficiente para autoignição, não se pode afirmar a propagação horizontal de incêndio para a edificação vizinha.

Tabela 6.13 - Nível de fluxo de calor e sua consequência para o ser humano

Nível de Fluxo de calor (kW/m ²)	Consequência
0,67	Dia ensolarado de verão
≈ 1	Fluxo em um dia claro de sol na superfície da terra com radiação direta. Valor limite de dor para uma pele não protegida. Uma queimadura de sol pode ocorrer entre 20 e 30 minutos.
2,5	Exposição típica de um bombeiro quando trabalhando.
4,5	Uma pele sem proteção irá sofrer queimaduras de 2º grau em cerca de 30 segundos.
6,4	Uma pele sem proteção irá sentir dor em menos de 8 segundos e queimadura de 2º grau em 18 segundos.
7	Valor limite para os bombeiros vestindo a roupa de proteção após 3 a 7 minutos de exposição.
10	Uma pele sem proteção irá sofrer queimaduras de 2º grau em cerca de 10 segundos.
12	Pirólise da madeira.
13	Os gases voláteis da madeira irão sofrer ignição quando expostos a uma chama.
16	Uma pele sem proteção irá sentir dor imediatamente e queimadura de 2º grau em 5 segundos.
20	Uma pele sem proteção irá sofrer queimaduras de segundo grau em menos de 4 segundos. Este nível de fluxo de calor representa o fluxo de calor no nível do chão em um quarto no início da generalização do incêndio (flashover)
29	Ignição espontânea da madeira.
80	Uma pele sem proteção irá sofrer queimadura de 2º grau instantaneamente. A generalização do incêndio está estabelecida no ambiente.
84	Fluxo de calor especificado no teste das roupas de proteção de bombeiros previsto na norma NFPA 1971.
170	Máximo fluxo de calor medido pelo NIST numa situação de pós-generalização do incêndio dentro de um ambiente.

Fonte: LAWSON e SVENSSON apud BRAGA (2016)

A Tabela 6.14 correlaciona as temperaturas e o fluxo de calor máximos medidos nas simulações computacionais do caso II para o incêndio com aberturas de 19,9% e 49,35%, com as possíveis consequências em materiais combustíveis, ou pessoas posicionadas nas fachadas confrontantes.

Tabela 6.14 - Correlação entre valores físicos medidos nas simulações com as consequências

19,9% de aberturas na fachada			
	Fluxo (kW/m ²)	Temperatura (°C)	Consequência
2º pavto	12,90	375,7	Autoignição da madeira e polímeros. Queimaduras de 2º grau na pele humana sem proteção em até 10s.
		403,3	
3º pavto	11,86	260,3	Pirólise da madeira e carbonização do algodão. Queimaduras de 2º grau da pele humana sem proteção em até 10 s.
49,35% de aberturas na fachada			
	Fluxo (kW/m ²)	Temperatura (°C)	Consequência
Térreo	4,25	197,6	Carbonização do algodão. Queimadura de 2º grau da pele humana sem proteção em até 30s
2º pavto	5,67	265,6	Carbonização do algodão e madeira. Fusão de diversos polímeros. Queimadura de 2º grau da pele humana sem proteção em até 30 s
		232,6	

Fonte: Autor.

Foi verificado também que, embora os afastamentos atendessem ao previsto na IT 09/2018 (CBPMESP, 2018), o valor medido das temperaturas nas fachadas confrontantes reduziu drasticamente à medida que o afastamento entre as edificações aumentou. De acordo com a norma, o afastamento entre as edificações vizinhas depende exclusivamente da taxa de abertura das fachadas e não considera outras variáveis tais como a carga de incêndio da edificação. Depreende-se do texto da norma e sua parametrização que quanto maior a taxa de abertura maior será a probabilidade de propagação horizontal do incêndio. Entretanto, ao ser analisado os valores obtidos para o fluxo de calor e temperaturas foi observado que mesmo com o incremento superior ao dobro na taxa de abertura das fachadas, os valores medidos para o fluxo calor e temperatura reduziram 56% e 34%, respectivamente. Esse fato indica que há uma grande probabilidade de que o critério utilizado para parametrização da compartimentação horizontal de edificações vizinhas esteja equivocado e que não se pode correlacionar o afastamento mínimo entre edificação apenas à taxa de abertura nas fachadas.

Além disso, o critério para determinação da taxa de aberturas das fachadas permite que as unidades autônomas possuam percentual de ventilação na fachada superior ao limite estabelecido em norma para a edificação, ou seja, as janelas instaladas nos

compartimentos que possuem carga de incêndio poderão possuir taxa de abertura superior ao percentual estabelecido para toda a fachada da edificação.

6.2 ESTUDO DE CASO

Foi realizada simulação computacional de incêndio por meio do “FDS” da edificação encontrada em um polo comercial existente no município de Serra – ES. Este polo comercial é conhecido por possuir grande adensamento de lojas instaladas na Avenida Central de Laranjeiras cujo afastamento lateral entre elas, na maioria dos casos, é inferior ao preconizado pelo IT 09/2018 (CBPMESP, 2018). Com objetivo de reproduzir as condições arquitetônicas foram escolhidas duas lojas vizinhas que apresentavam considerável carga de incêndio.

A Figura 6.34 mostra as lojas em sua configuração regular de uso. Como o objetivo principal é verificar as condições de compartimentação horizontal das lojas não foi realizado a localização geográfica delas. O afastamento medido entre as aberturas adjacentes frontais das duas lojas foi de aproximadamente 60 cm, e o afastamento mínimo exigido em norma é de 2 m. As duas possuem elevado pé direito, cerca de 6,2 m, e a instalação de mezaninos.

Figura 6.34 - Imagem das lojas objeto da simulação computacional



(a) Loja 1

(b) Loja 2, a direita da Loja 1

Fonte: Autor

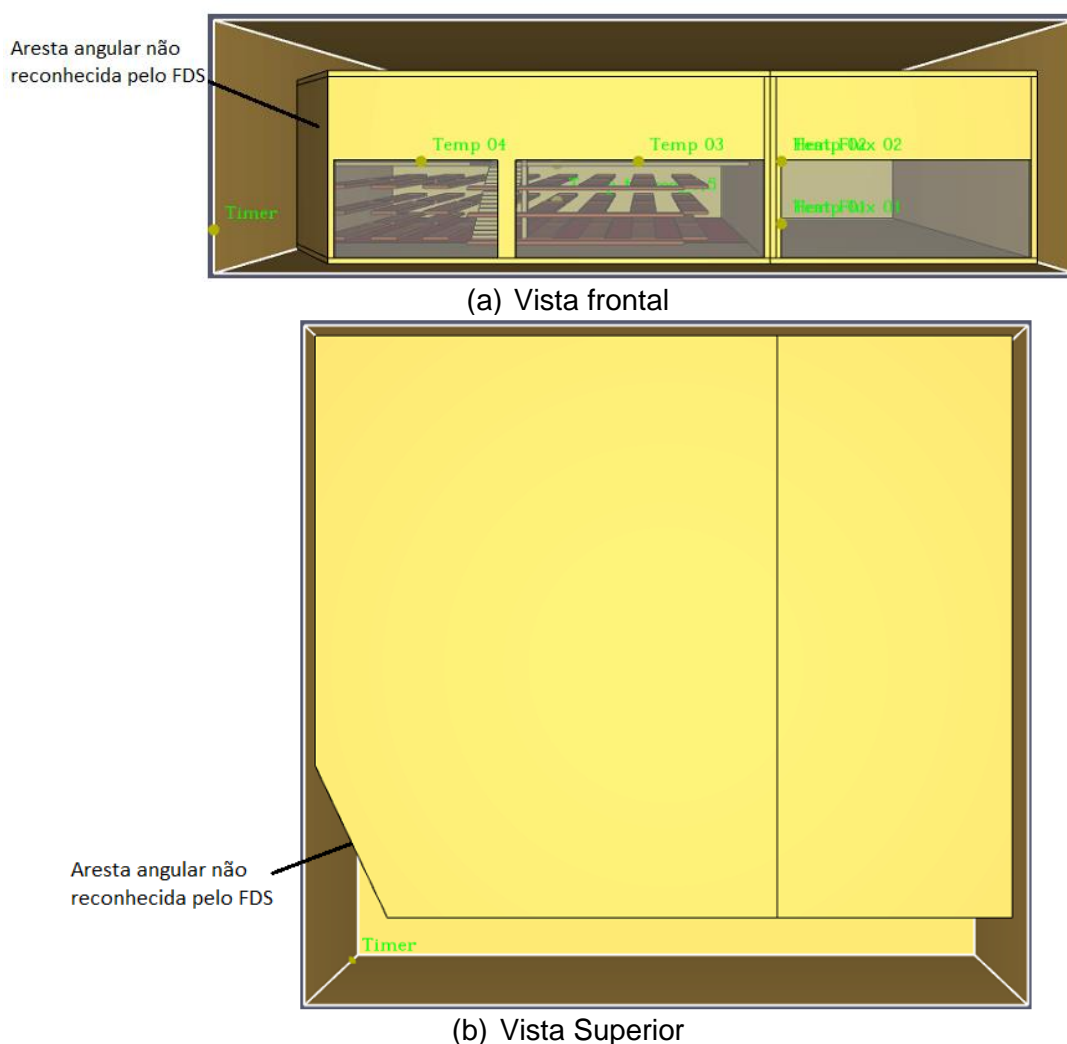
Como a fachada das lojas é quase que totalmente aberta, elas foram classificadas como ambientes bem ventilados, ou seja, em caso de incêndio, não haverá dificuldade de ventilação e o sinistro será controlado pela oferta de combustível existente no

interior do compartimento. Quanto à oferta de combustível, de acordo com a IT 14/2019 (CBPMESP, 2019), a carga de incêndio específica da Loja 1, à esquerda, é de 800 MJ/m², móveis e eletrodomésticos, e a da Loja 2, à direita, é de 500 MJ/m², calçados e artigos esportivos. Com intuito de verificar a pior condição de propagação de incêndio o foco de incêndio foi instalado na Loja 1, cuja carga de incêndio é maior e, portanto, evoluirá para um incêndio com maior severidade.

6.2.1 Geometria

Para a simulação numérica foi utilizada a arquitetura que representasse com fidelidade as lojas escolhidas. No entanto, a Loja 1 possuía ajustes na locação do terreno que não puderam ser reproduzidas pelo FDS. Existe limitação do FDS para reproduzir aresta angular do desenho conforme mostra a Figura 6.36.

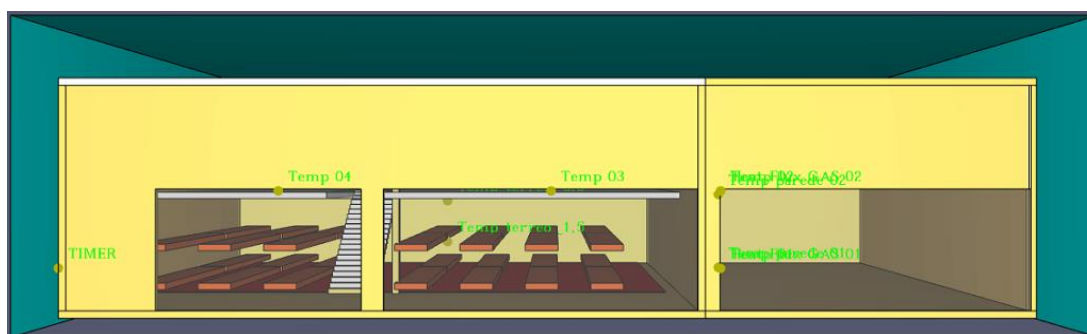
Figura 6.35 - Geometria das edificações objeto do estudo de caso



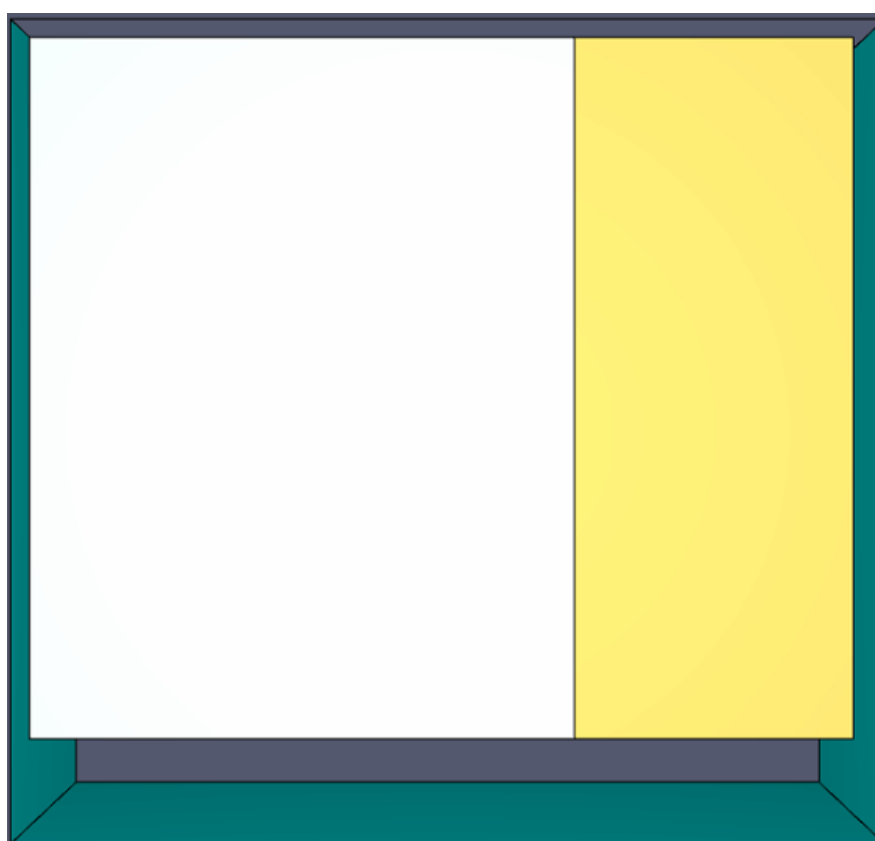
Fonte: Autor

Sendo assim, foi necessário realizar ajustes na arquitetura, de forma que a área de piso da Loja 1 não se alterasse, mas a aresta angular fosse substituída por uma aresta perpendicular a fachada. A Figura 6.36 mostra a configuração final da arquitetura após os ajustes necessários.

Figura 6.36 - Geometria do compartimento do estudo de caso após ajustes para o FDS



(a) Vista frontal



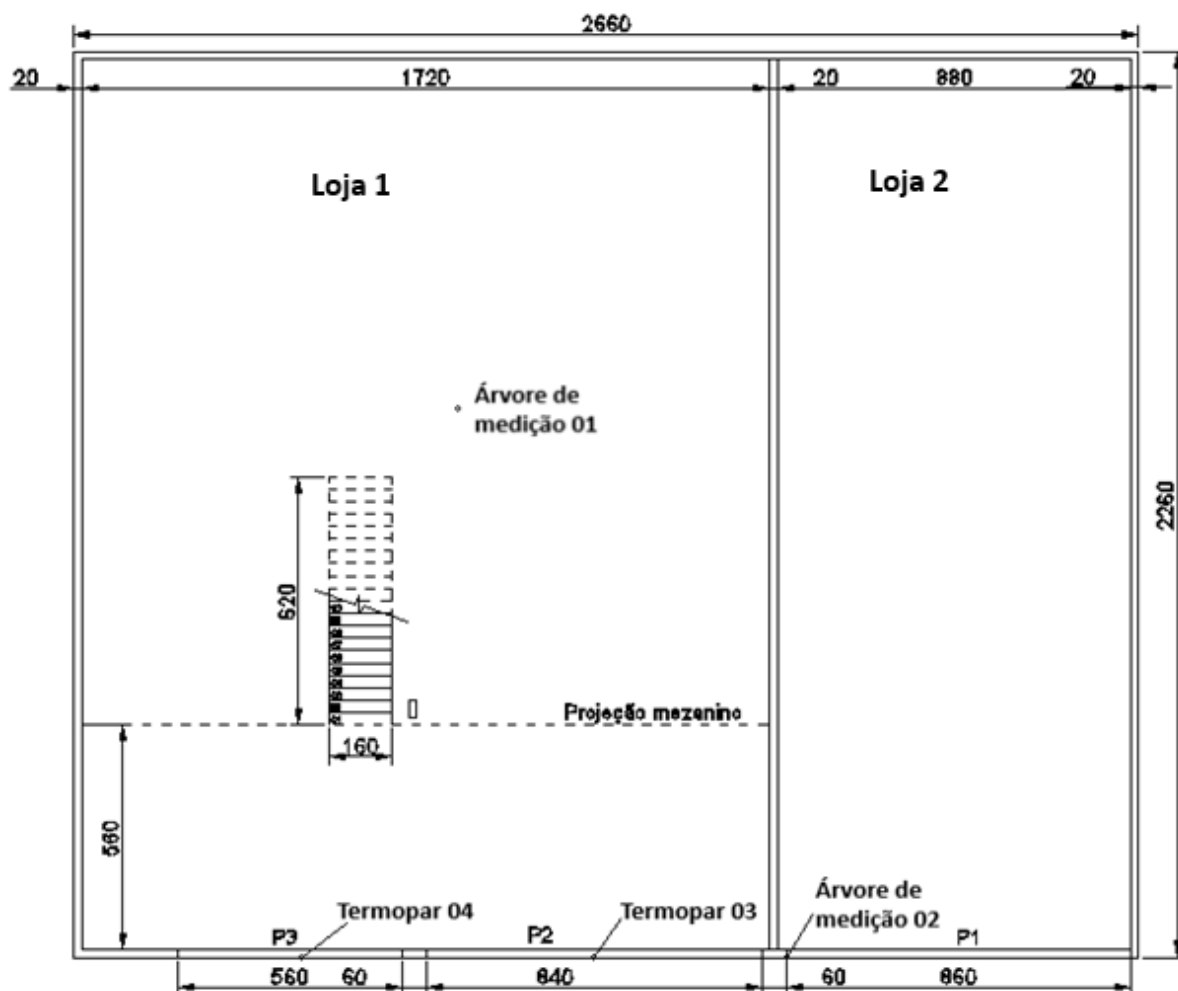
(c) Vista Superior

Fonte: Autor

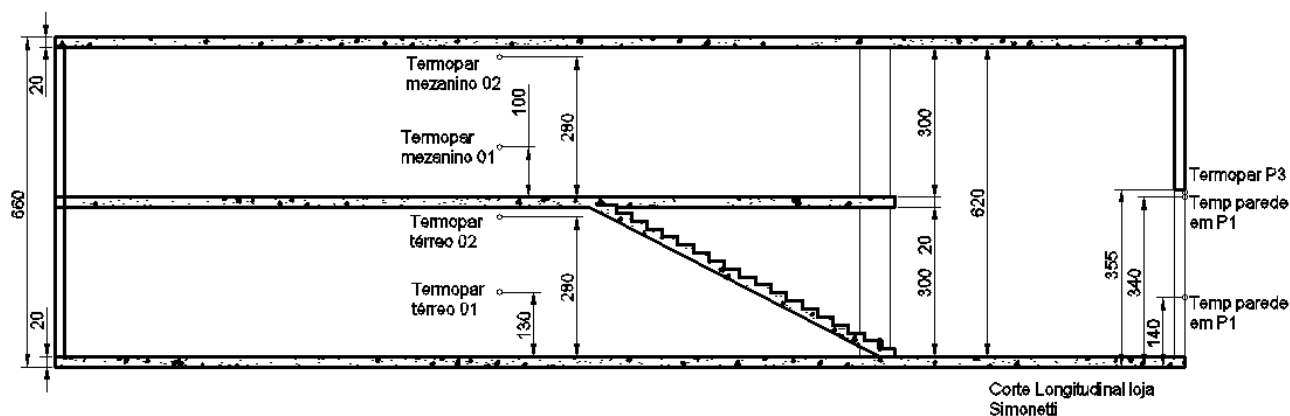
A Figura 6.37 mostra a geometria das lojas, com informações arquitetônicas do ambiente de simulação após a realização dos ajustes demandados pelo FDS. As paredes são em alvenaria e o teto e o piso em concreto. A espessura das paredes e

do teto foram de 0,20 m para se ajustarem a malha escolhida para simulação computacional.

Figura 6.37 – Planta esquemática do interior das lojas. medidas em cm, sem escala



(a) Planta baixa sem escala



(b) Corte esquemático sem escala

Fonte: Autor

Convém salientar que, dado a simplicidade da correção realizada, os resultados não sofreram qualquer prejuízo, no entanto, no caso de arquiteturas mais complexas as alterações precisam sofrer análises mais profundas e seu efeito deve ser considerado. Os materiais utilizados na construção foram concreto e alvenaria de tijolo cerâmico que possuem caracterização de acordo com a tabela 6.2.

6.2.2 Distribuição da carga de incêndio

De acordo com o anexo A da IT 14/2019 (CBPMESP, 2019), a carga de incêndio específica da Loja 1 é de 800 MJ/m² e, com intuito de reproduzir essa carga de incêndio, foi utilizada a metodologia denominada “equivalente em madeira” para distribuir o material combustível no interior do ambiente de incêndio escolhido para a simulação.

A madeira utilizada possui características de queima representada na Tabela 6.1 e sua massa reproduz a quantidade de energia estipulada para o ensaio de simulação computacional do estudo de caso. A Tabela 6.15 mostra, de forma simplificada, a memória de cálculo para determinação da massa de madeira e as dimensões utilizadas para distribuição da carga de incêndio de aproximadamente 800 MJ/m² sobre os pisos da Loja 1, representada na Figura 6.38.

Tabela 6.15 - Determinação da massa de madeira na Loja 1

	Característica	Térreo	Mezanino
Dados físicos da madeira	Densidade (kg/m ³) ¹	369,60	369,60
	Potencial Calorífico (MJ/kg) ¹	17,90	17,90
	Carga de incêndio (MJ)	303.799,40	222.292,20
Dados geométricos por elemento	Largura (m)	1,00	1,00
	Comprimento (m)	8,20	8,00
	Espessura (m)	0,20	0,20
	Volume (m ³)	1,64	1,60
Total	Área do térreo (m ²)	381,84	279,45
	Carga inc. específica (MJ/m ²)	795,62	795,46
	Quantidade de elementos	28,00	21,00

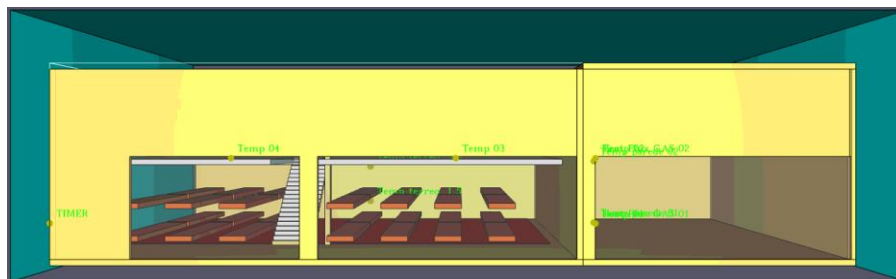
¹ Conforme dados obtidos por Andrade (2018)

Fonte: Autor

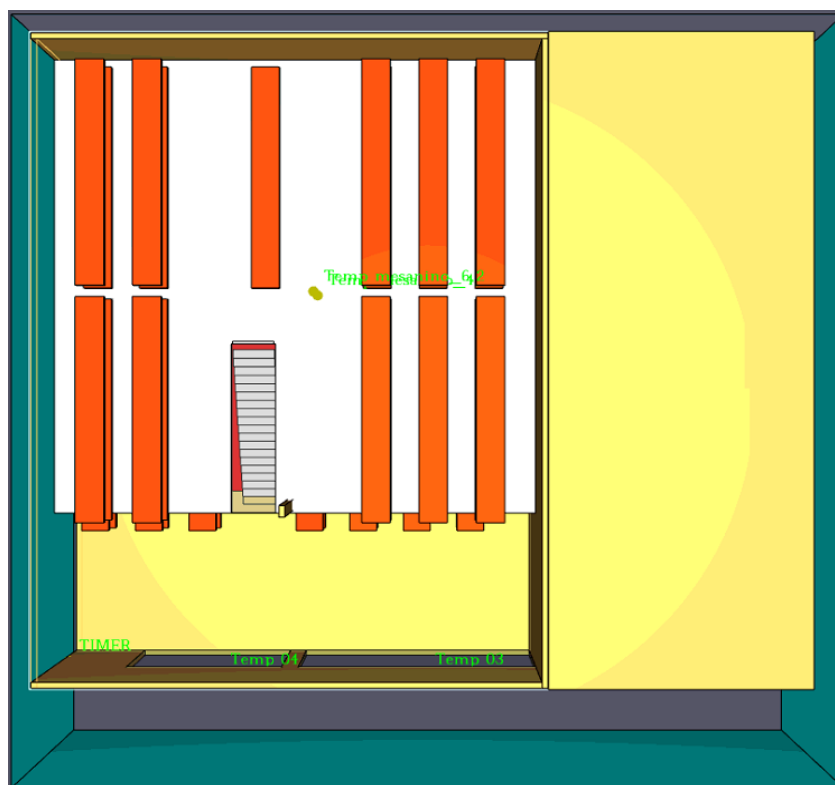
A madeira foi distribuída conforme mostra a Figura 6.38, onde os elementos foram instalados centralizados em grupo de 7, sendo 14 por camada no Térreo, e Grupo de 5, perfazendo 10 por camada centralizada no mezanino. Ficaram afastadas 1 m entre

si, e as camadas afastadas a 0,4 m do piso acabado num total de 28 elementos de madeira no térreo e 21 no mezanino. As dimensões de cada elemento estão especificadas na Tabela 6.15.

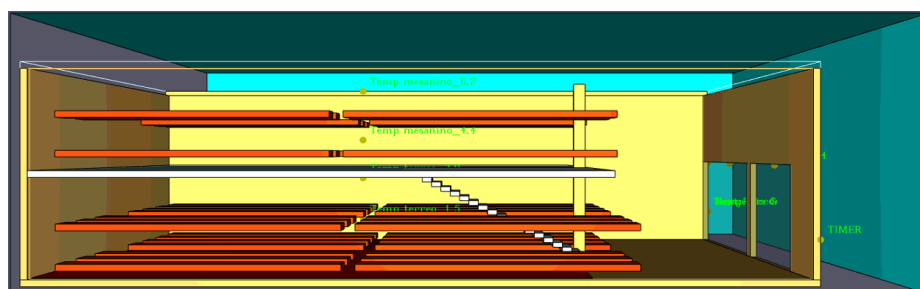
Figura 6.38 - Distribuição da carga de incêndio 800 MJ/ m² no estudo de caso



(a) Vista frontal das lojas, "heater" sobre o piso do térreo



(d) Vista Superior, mezanino sem "heater"



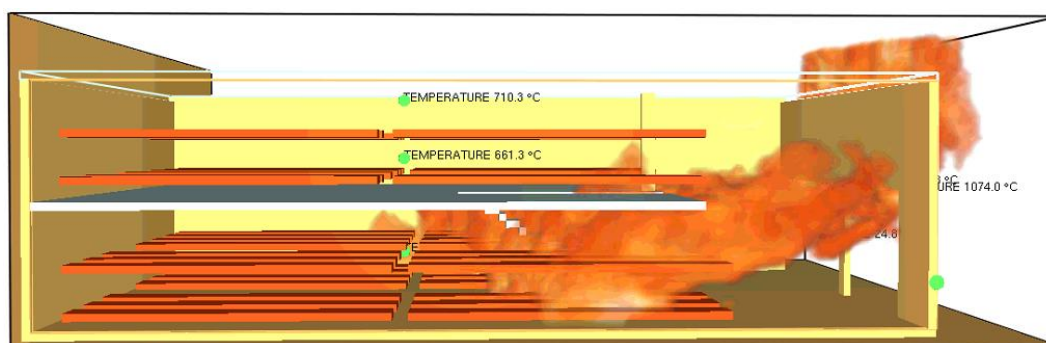
(c) Vista lateral esquerda da Loja 1

Fonte: Autor

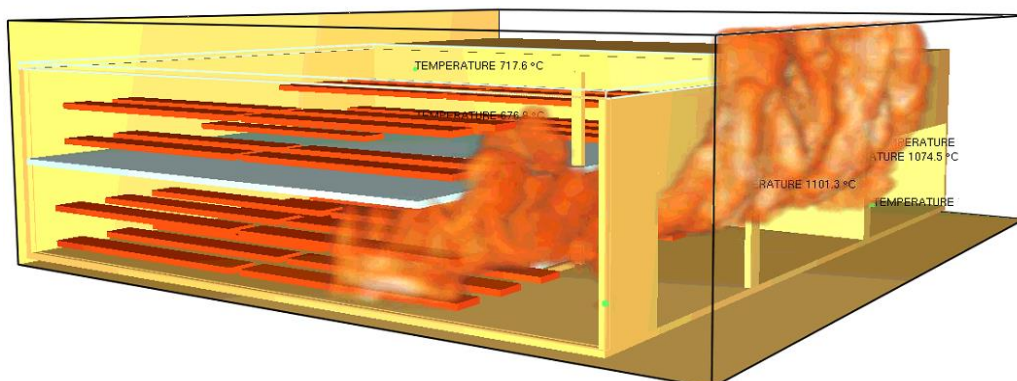
6.2.3 Dispositivos de medição

Os dispositivos de medição foram instalados em posições estratégicas conforme mostra as plantas na Figura 6.37. No interior do ambiente de incêndio, Loja 1, foi instalada uma árvore de medição com quatro termopares a 1,30 m, 2,80 m do piso acabado no térreo e 1,0 m e 2,8 m do piso acabado no mezanino. Além destes dispositivos foi instalado um termopar junto a aresta superior de cada porta frontal da Loja 1. Na Loja 2, exatamente na aresta da porta P1 mais próxima à Loja 1, foi instalada uma árvore de medição com dispositivos de medição de temperatura na parede, “wall temperature”, e fluxo de calor, “radiative heat flux”, nas elevações de 1,4 m e 3,4 m em relação à cota $z = 0.0$.

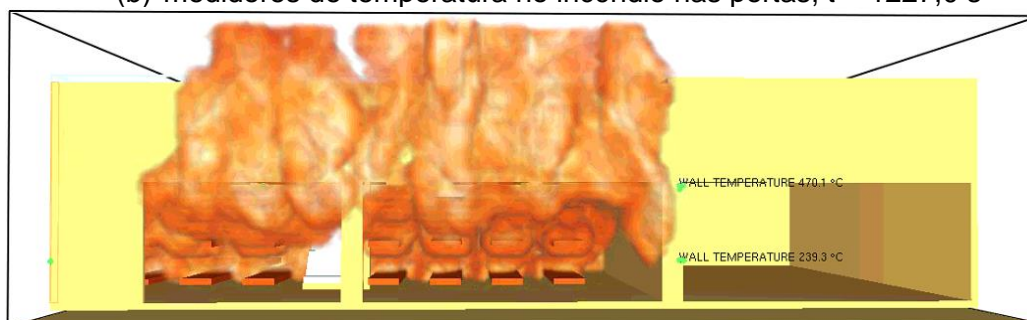
Figura 6.39 - Geometria do estudo de caso, dispositivos de medição



(a) medidores de temperatura no incêndio, $t = 1227,0$ s



(b) medidores de temperatura no incêndio nas portas, $t = 1227,0$ s



(c) medidores de temperatura superficial, $t = 1227,0$ s

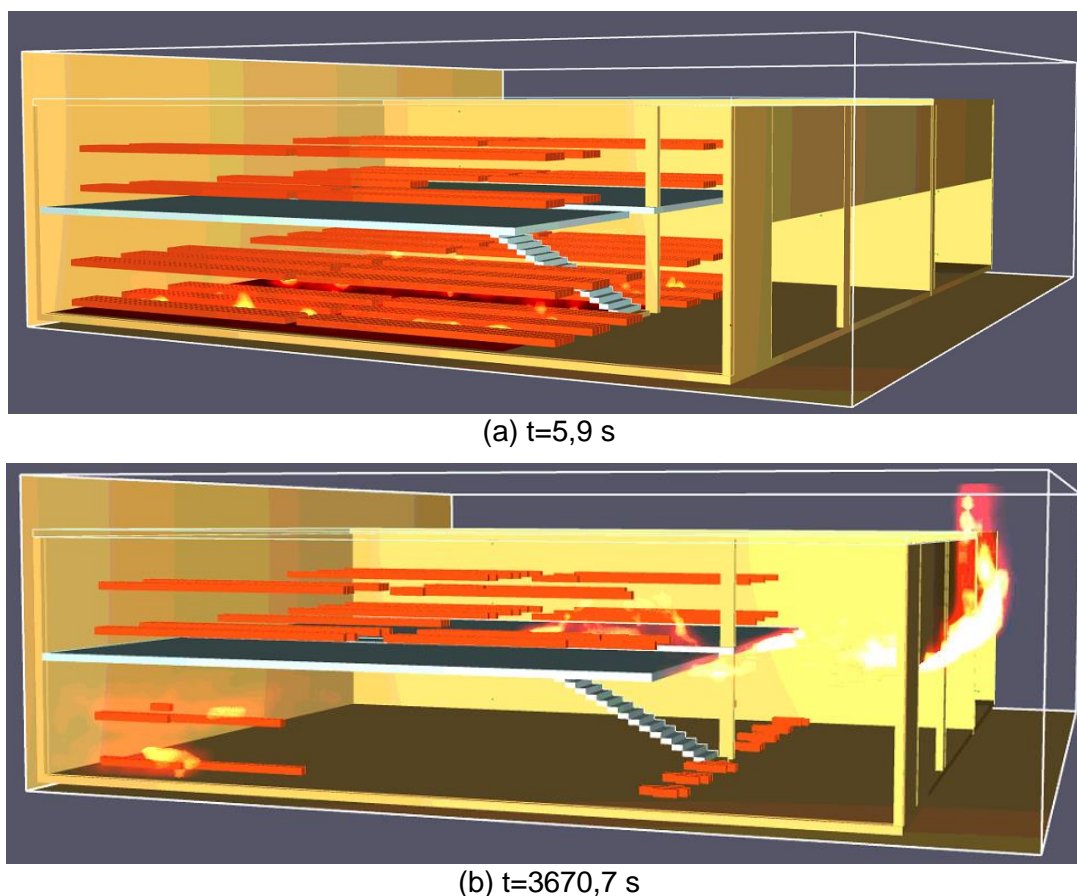
Fonte: Autor

Os dispositivos foram instalados para colher informação das temperaturas e fluxo de calor radiativo junto à abertura da Loja 1 a fim de verificar a possibilidade de propagação horizontal do incêndio da Loja 1 para a Loja 2. A Figura 6.39 mostra a posição onde foram instalados os dispositivos de medição, bem como os valores medidos das temperaturas em um instante “t” indicado.

6.2.4 Tempo de Simulação

Foi determinado um tempo total de simulação computacional de incêndio de três mil e setecentos e vinte segundos (3720 s) a fim de garantir que o incêndio tenha ultrapassado o pico de energia gerada pela combustão total da carga de incêndio. Esse fato, confirmou-se por meio do comportamento das curvas de temperatura versus tempo durante a simulação numérica de incêndio obtidas pelos termopares instalados no térreo e no mezanino, e pelas as imagens de consumo da madeira ao longo do tempo geradas pelo software “PyronSim”. A Figura 6.40 mostra as condições de consumo da massa da madeira no início (a) e no fim da simulação (b).

Figura 6.40 - Consumo da madeira durante a simulação



Fonte: Autor

6.2.5 Definição da malha para a simulação

Uma vez que o objetivo principal da simulação numérica é verificar o comportamento do incêndio nas proximidades da Loja 2, vizinha ao foco de incêndio, ou seja, a real condição de compartimentação horizontal, não foi requerido, então, maior acurácia do comportamento do incêndio nas proximidades da fonte principal de incêndio. Por esse motivo, considerando o elevado custo computacional demandado pela simulação, foi escolhida malha de refinamento médio, $0,20 \times 0,20 \times 0,20$ m, totalizando 794.593 elementos. Todo o volume de simulação foi delimitado pelo prisma de coordenadas (-0,2; -3,0; -0,2) e (27,2; 22,8; 8,0).

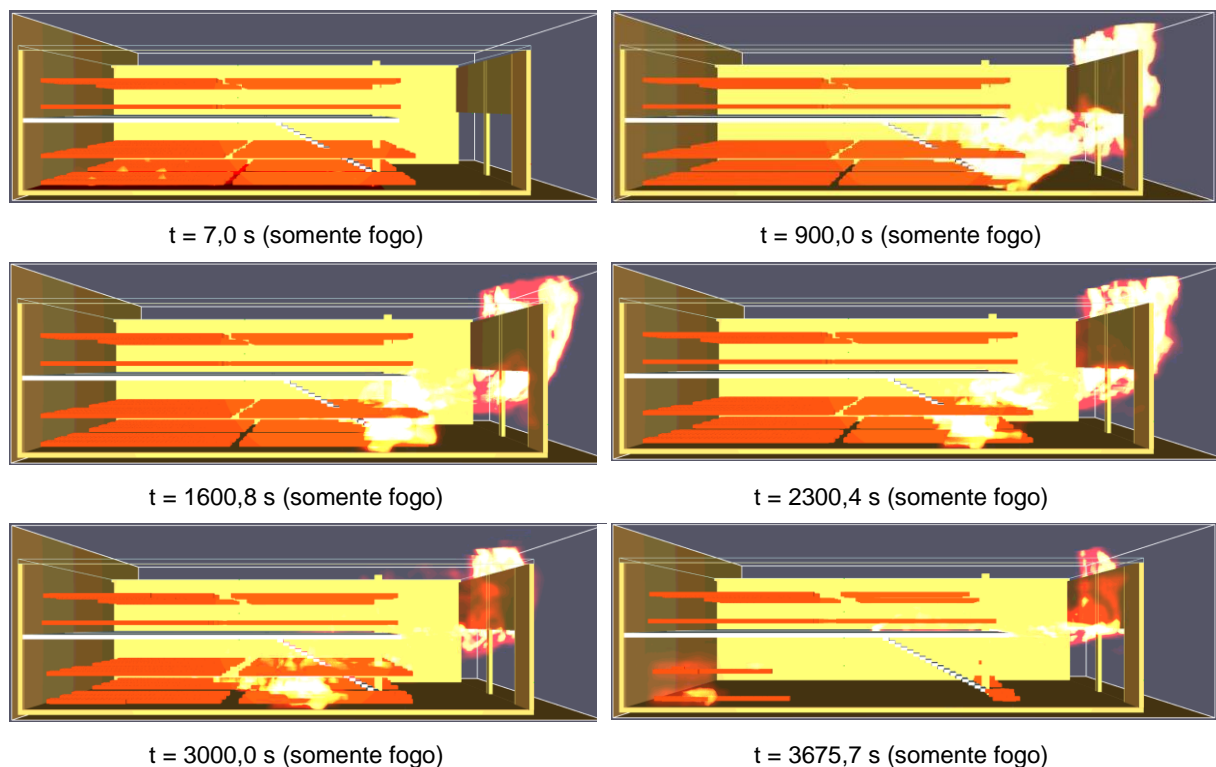
6.2.6 Posicionamento do “Heater”

O “Heater” foi instalado sobre o piso do térreo embaixo dos vinte oito elementos de madeira. Após doze segundos de simulação de incêndio foi providenciado o seu “desligamento” por meio do dispositivo de controle “TIMER”. Quanto à carga de incêndio instalada no mezanino, ela foi aquecida de forma secundária, ou seja, a elevação de temperatura do ambiente devido à queima da madeira do térreo provocou a pirólise dos elementos de madeira no mezanino e posterior queima desse material. Na Figura 6.38a o “Heater” é representado pela cor vermelha logo abaixo dos elementos de madeira no térreo que, quando desligado muda sua coloração e não é mais identificado na imagem da simulação numérica.

6.2.7 Resultados

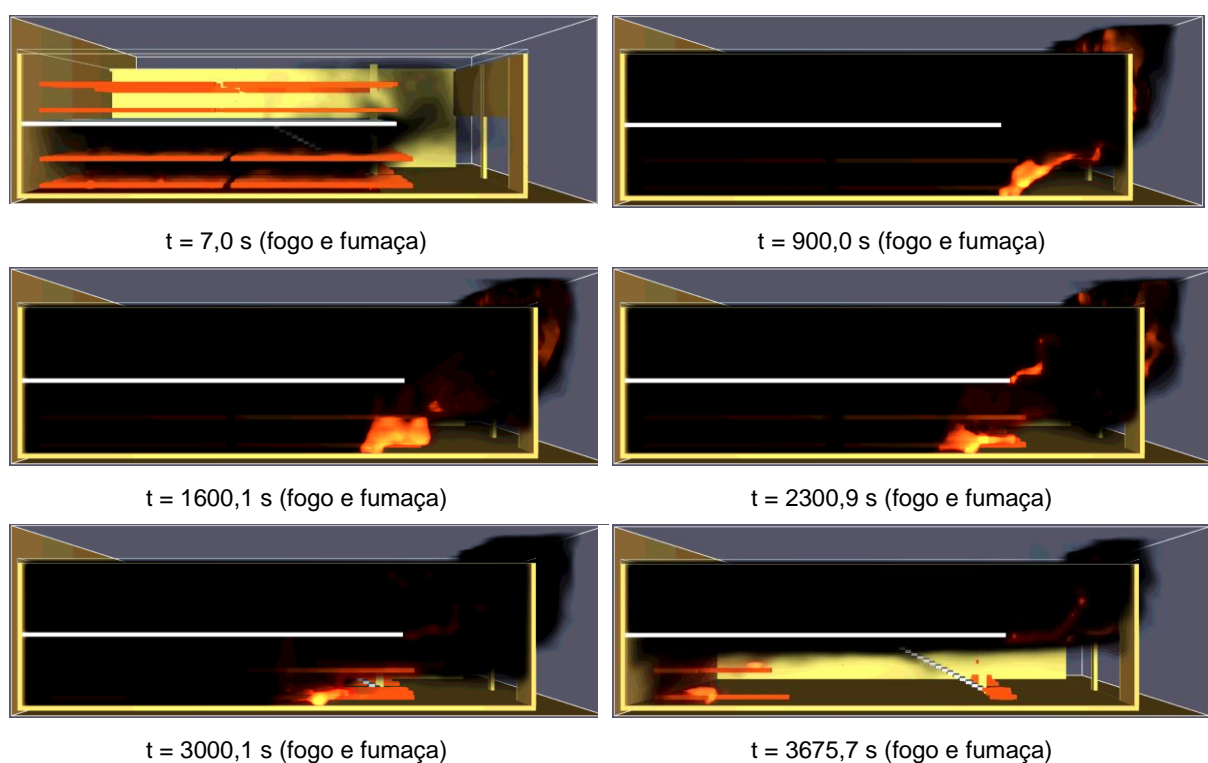
Sensores instalados estrategicamente no interior da Loja 1 e no acesso da Loja 2 mediram as temperaturas do incêndio, temperatura da parede e fluxo de calor irradiado durante toda a simulação. As Figuras 6.41 e 6.42 mostram o comportamento do incêndio durante a simulação computacional em instantes específicos.

Figura 6.41 - Imagens das chamas durante a simulação computacional de incêndio em compartimento da Loja 1 nos instantes indicados



Fonte: Autor

Figura 6.42 - Imagens das chamas e fumaça durante a simulação computacional de incêndio em compartimento da Loja 1 nos instantes indicados



Fonte: Autor

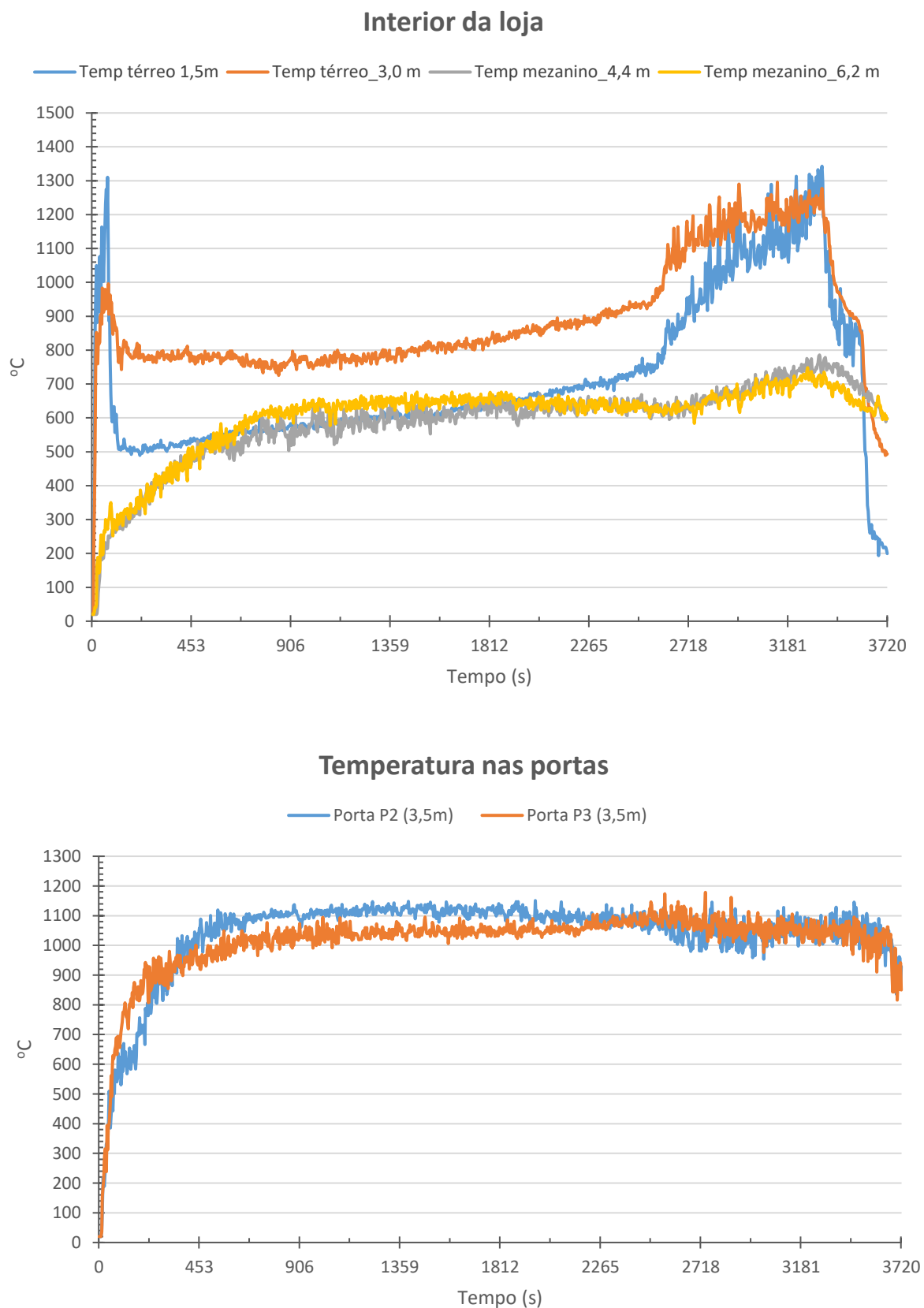
O custo computacional da simulação foi elevado, e o tempo demandado pelo “FDS/PyronSym” para simular 3720s de incêndio foi de aproximadamente 27 dias e 10 horas, em um computador com processador Intel® Core™ i7-7700 CPU @ 3.60 GHz 3.6 GHz, memória RAM de 16 GB e sistema operacional 64 bits, processador com base x64.

Mesmo com uma considerável oferta de oxigênio devido as aberturas na fachada principal, as temperaturas do incêndio no interior do compartimento evoluíram de forma lenta. Efetivamente, as aberturas não foram suficientes para retirada da fumaça do interior do compartimento na Loja 1, o que acumulou rapidamente os produtos da combustão incompleta da madeira e limitou a oferta de oxigênio no interior do compartimento. Isso reduziu as “chamas” no interior provocando a queda das temperaturas medidas.

No início, na medida que o material combustível foi sendo consumido, a quantidade de fumaça gerada inundou o compartimento, impedindo o ingresso de mais oxigênio, o que empurrou as chamas para as aberturas junto à fachada da Loja 1. Somente com a evolução do incêndio e o consumo gradativo da carga de incêndio, o volume de fumaça produzido reduziu. Isso permitiu a entrada de oxigênio no interior do compartimento e o consequente recuo das chamas da fachada para o interior da Loja1. Com as chamas no interior do compartimento, as temperaturas medidas no incêndio se elevaram ao longo do tempo no pavimento térreo e mezanino.

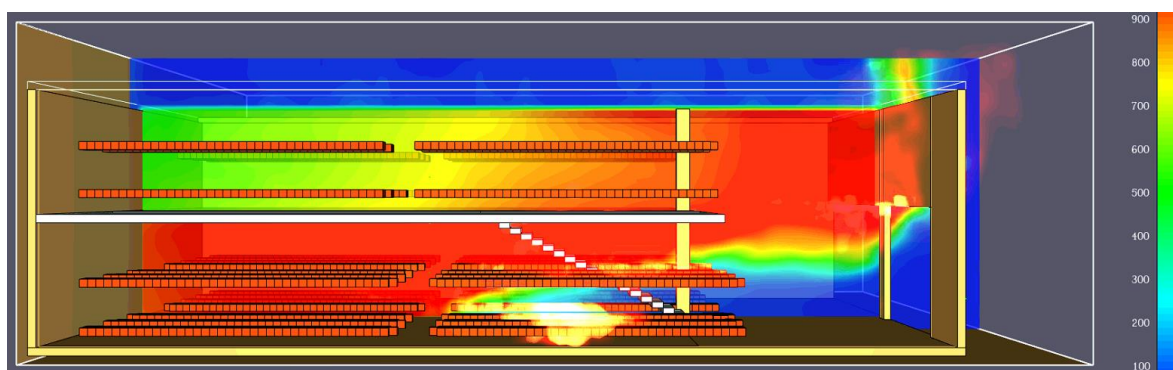
O comportamento do incêndio foi ligeiramente diferente no mezanino. Como o incêndio no mezanino foi consequência do incêndio no térreo, foco secundário, as temperaturas cresceram gradativamente sem o “pico” do início. Assim como no térreo, o incêndio foi limitado pela oferta de oxigênio disponível no ambiente. Com o passar do tempo, a massa de combustível foi sendo consumida e a quantidade de fumaça gerada reduziu, permitindo o progresso das chamas na direção do mezanino a partir da fachada. A Figuras 6.43 mostra a evolução das temperaturas do incêndio no térreo, mezanino, e portas principais da Loja 1.

Figura 6.43 - Evolução das temperaturas medidas no incêndio

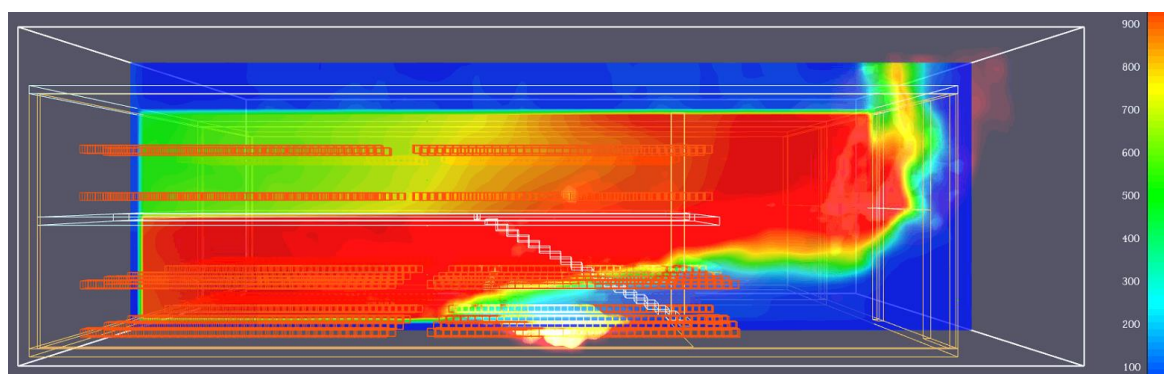


Fonte: Autor

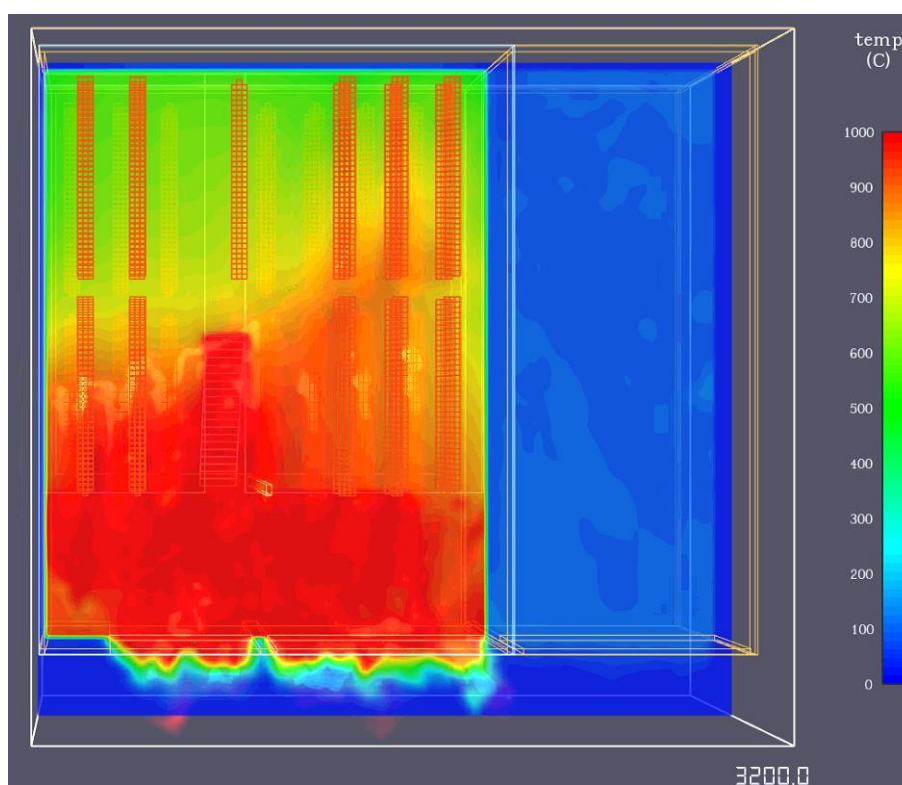
Figura 6.44 - Distribuição das temperaturas no interior do compartimento da Loja 1 no instante $t=3200,0s$



(a) Corte no plano $x=9,60m$



(b) Corte no plano $x=9,60m$



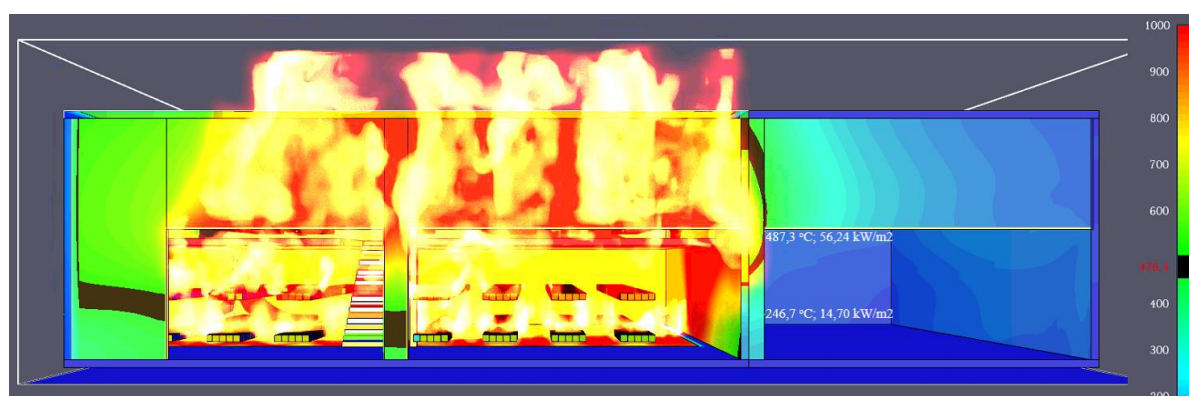
(c) Corte no plano $z=3,40m$

Fonte: Autor

A Figura 6.44 mostra a distribuição das temperaturas no interior do compartimento, numa seção longitudinal, obtida por meio do “SLICE”. Assim como ocorreu na simulação dos casos de norma, as temperaturas se apresentaram de maneira heterogênea e, dependendo das condições de ventilação, o gradiente entre o menor e o maior valor da temperatura dos fluidos foi muito elevado. No entanto, para efeito de dimensionamento das estruturas, o valor a ser considerado para o carregamento de incêndio deve ser a temperatura superficial no ponto de instalação das peças estruturais no interior do compartimento. Isso é necessário por que a temperatura medida na superfície de sólidos depende da taxa de absorvidade radiativa do material que, na maioria das vezes, é maior nos sólidos do que nos fluidos.

Com o intuito de verificar a temperatura na fachada da edificação foi realizado a medição das temperaturas superficiais em pontos determinados por meio de dispositivo “WALL TEMPERATURE”. A Figura 6.45 mostra a distribuição das temperaturas na superfície externa da fachada da edificação no instante $t=2427,8$ s da simulação computacional.

Figura 6.45 - Distribuição da temperatura superficial na fachada das lojas



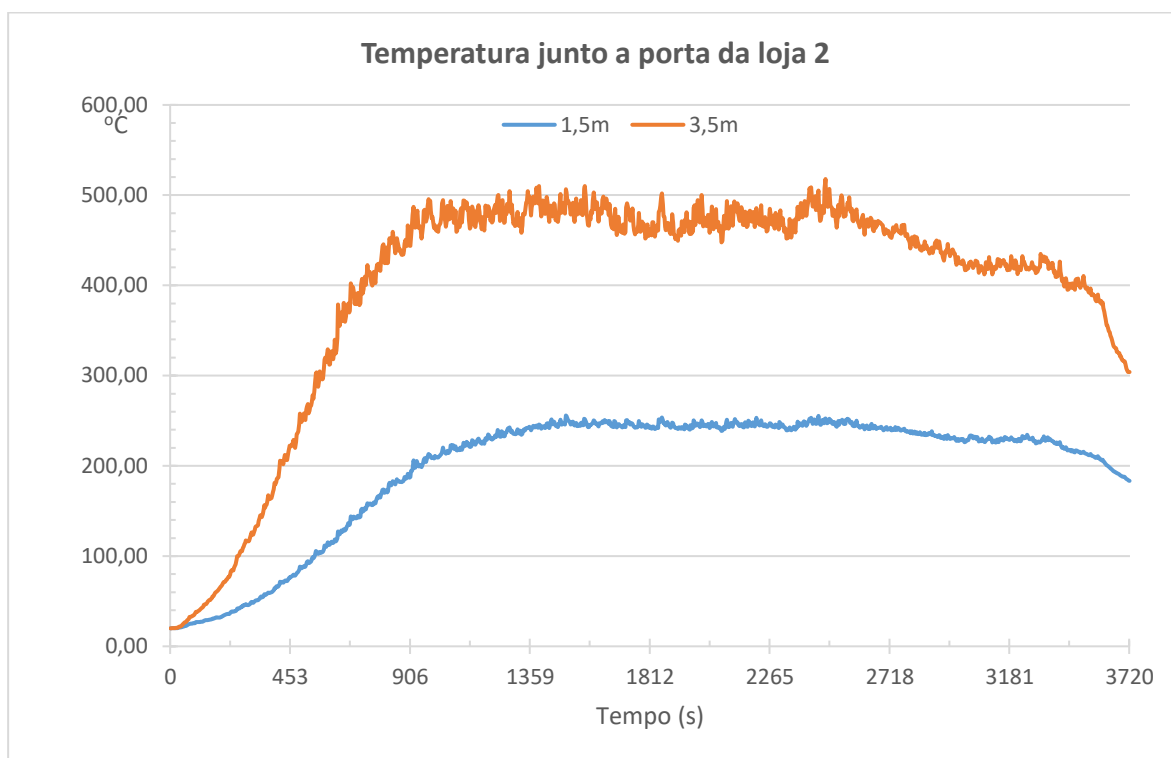
(a) $t = 2427,8$ s (escala em °C)

Fonte: Autor

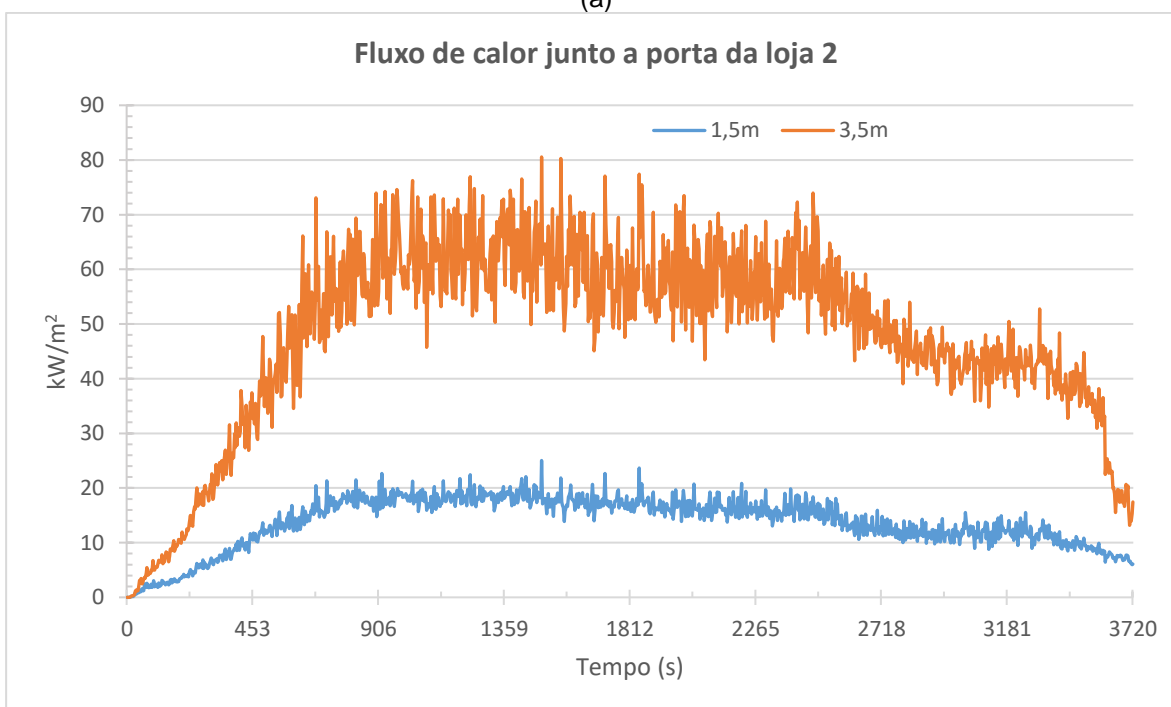
Na Figura 6.45 são indicados as temperaturas e os fluxos de calor medidos na altura de 1,5m e 3,5m junto a abertura da Loja 2 pelos dispositivos. O afastamento mínimo entre as aberturas das lojas é de aproximadamente 0,60m, muito inferior ao preconizado pela norma de compartimentação horizontal, 2m de afastamento lateral para aberturas instaladas em um mesmo paramento. Os valores medidos para a temperatura e fluxo de calor ao longo do tempo são bastante elevados e há indícios de provável propagação horizontal do incêndio da loja incendiada para a loja vizinha.

A Figura 6.46 mostra o comportamento da temperatura e o fluxo de calor medidos junto a porta da Loja 2 ao longo do tempo durante a simulação numérica de incêndio.

Figura 6.46 - Comportamento das temperaturas e fluxo de calor radiativo junto à abertura da loja vizinha durante a simulação numérica



(a)



(b)

Fonte: Autor

A Tabela 6.16 mostra os valores máximos obtidos para a temperatura e fluxo de calor medidos junto a porta da Loja 2, vizinha à loja incendiada, durante a simulação computacional de incêndio.

Tabela 6.16 - Máximos valores medidos de temperatura e fluxo de calor irradiado junto a abertura da Loja 2

Loja 2		
Altura em relação ao piso	Fluxo de calor (kW/m ²)	Temperatura (°C)
1,5 m	25,03	255,83
3,5 m	80,55	517,89

Fonte: Autor

A partir dos resultados medidos representados pela Figura 6.46 e pela Tabela 6.16 verifica-se que:

- as temperaturas e o fluxo de calor medidos obtiveram valores elevados; e
- as temperaturas e o fluxo de calor foram maiores na cota de 3,5m em relação ao piso acabado.

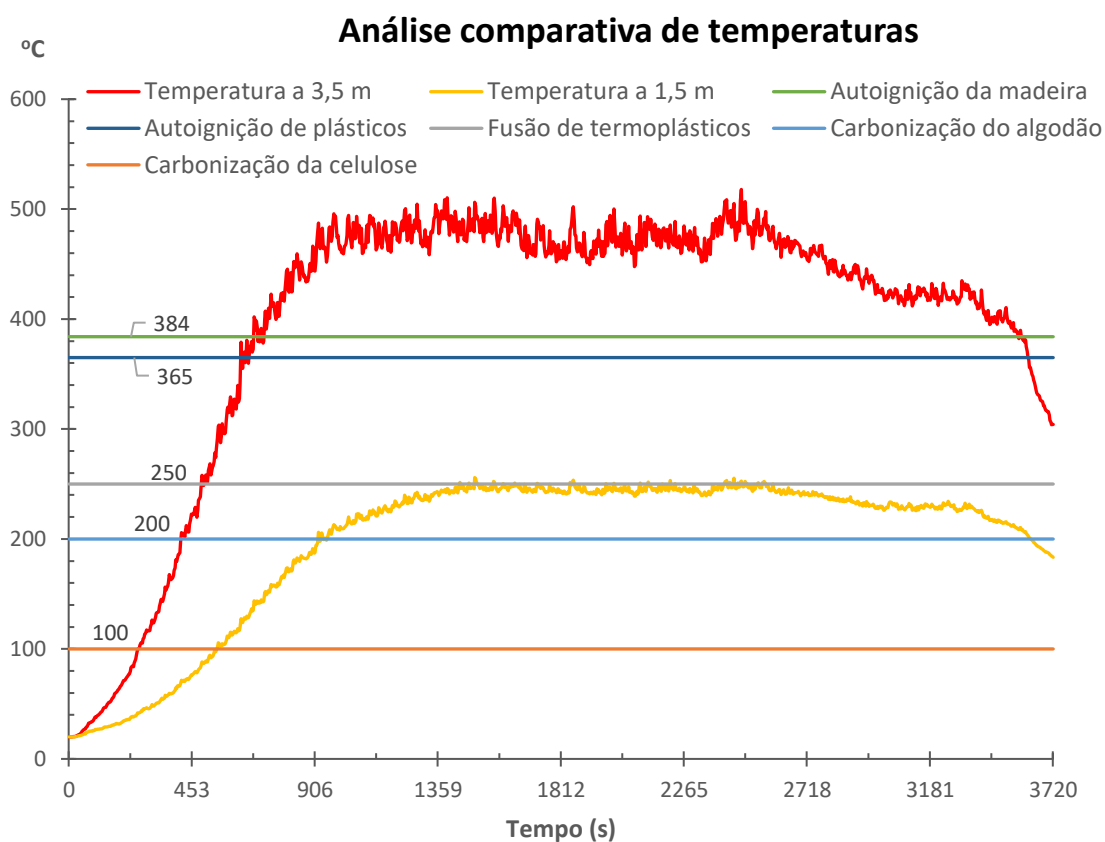
A Tabela 6.5 mostra os efeitos da temperatura em materiais sólidos poliméricos como o algodão, a celulose, os polímeros termoplásticos e os termofixos. Ela foi produzida por De Haan (2014) que usou como fonte Drysdale (2006). Verifica-se na tabela que os polímeros, na sua maioria, possuem pontos de fusão inferiores a 200°C. Das possibilidades de materiais a serem utilizados na fachada junto a porta P1 da Loja 2, os polímeros são opções válidas e prováveis de serem empregados em ornamentos, placas de publicidades, esquadrias, produtos e embalagens de mercadorias. Considerando as temperaturas medidas por meio das simulações computacionais, existe uma alta probabilidade do incêndio da Loja 1 gerar consequências reais nos materiais combustíveis junto a abertura da Loja 2, tais como fusão, carbonização e autoignição destes materiais, uma vez que os valores máximos de temperaturas são 255,83°C e 517,89°C, nas cotas 1,5 a 3,5m, respectivamente, na aresta da abertura da loja vizinha.

A Tabela 6.6 produzida por De Haan (2014) relaciona as temperaturas necessárias para autoignição de plásticos combustíveis. A autoignição é a característica dos combustíveis de auto inflamar, sem a necessidade de uma fonte ígnea direta em contato com o material, apenas por meio da elevação gradual da temperatura

superficial. Além disso, a madeira utilizada neste estudo como carga de incêndio possui ponto de autoignição igual a 384°C, ou seja, um foco secundário surge neste material sempre que sua temperatura ultrapassa o ponto de autoignição, o que foi observado no mezanino da loja incendiada durante as simulações computacionais.

Com base nos valores encontrados por Babrauskas indicado na tabela de De Haan (2014) e, de acordo com a tabela 6.1, que contém o ponto de autoignição da madeira utilizada neste estudo, caso os plásticos listados na tabela 6.6 e a madeira deste estudo sejam utilizados junto a abertura da Loja 2, e considerando as temperaturas apresentadas na tabela 6.16, podemos afirmar que haverá um foco secundário na Loja 2 devido a autoignição do material combustível instalado junto as aberturas, propagando horizontalmente o incêndio. A Figura 6.47 relaciona comparativamente os pontos de fusão, carbonização e autoignição de sólidos combustíveis com as temperaturas medidas junto a porta P1 da loja vizinha.

Figura 6.47 -Análise comparativa entre as temperaturas medidas junto a abertura da Loja 2 e propriedades termofísicas de sólidos combustíveis

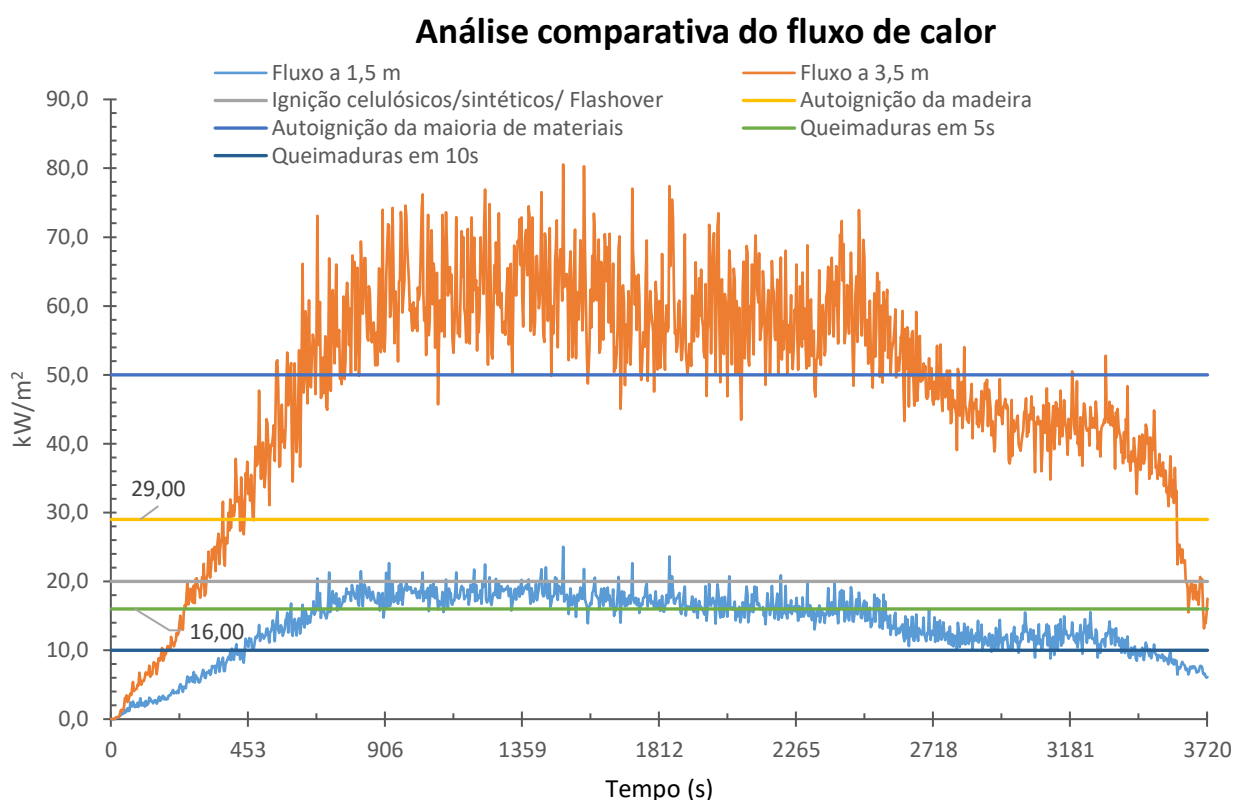


Fonte: Autor

As Tabelas 6.8, 6.12 e 6.13 relacionam os níveis de fluxo de calor e temperaturas com as consequências para combustíveis sólidos e seres humanos. A Tabela 6.8, De Hann (2014), correlaciona fonte de calor com fluxo de calor gerado, temperatura e os seus efeitos. Tomando a lareira como fonte de calor, combustível similar ao utilizado nas simulações, percebe-se que para fluxos superiores a 10 kW/m^2 as temperaturas geradas são em torno de 150°C com efeito direto de fusão de polímeros.

Em paralelo, Lawson (2009) nas Tabelas 6.12 e 6.13 mostra que temperaturas de 250°C carbonizam o algodão e o fluxo de calor de 12 kW/m^2 é suficiente para provocar a pirólise da madeira. Ainda sobre as conclusões de Lawson (2009), na Tabela 6.13 ele mostra que para fluxos maiores ou iguais $4,5 \text{ kW/m}^2$, a pele humana sem proteção sofre queimaduras de 2º grau e danos em 30s de exposição.

Figura 6.48 - Análise comparativa entre o fluxo de calor medido junto a abertura da loja vizinha e consequências térmicas para sólidos combustíveis e o ser humano



Fonte: Autor

A simulação computacional obteve valores elevados para o fluxo de calor medido junto a porta P1 da Loja 2. A Tabela 6.16 mostra que os valores máximos ficaram entre 25 e 85 kW/m^2 , entre as cotas de 1,5 e 3,5m junto a porta P1 da loja vizinha. De acordo

com a Tabela 6.13 o fluxo de calor medido na simulação computacional é suficiente para proporcionar a ignição espontânea da madeira, cujo limite é de 29 kW/m^2 . No que diz respeito aos efeitos do fluxo de calor medido no ser humano, qualquer pessoa sem proteção junto a porta P1 da Loja 2 sofreria queimaduras de 2º grau em menos de 4s de exposição. A Figura 6.48 relaciona comparativamente os efeitos do fluxo de calor com as consequências relacionadas nas Tabelas 6.8, 6.12 e 6.13.

Sendo assim, da análise dos resultados da simulação computacional de incêndio do estudo de caso, é possível afirmar que o afastamento lateral de 0,60m existente entre a Loja 1 e a Loja 2 é insuficiente para evitar a propagação horizontal de incêndio entre as duas lojas, uma vez que os valores medidos para as temperaturas e o fluxo de calor junto a porta P1 na Loja 2 são suficientes para produção de um foco secundário por meio da autoignição de materiais sólidos combustíveis normalmente empregados na configuração de uso de lojas comerciais.

7. CONCLUSÕES

Os valores obtidos nas simulações computacionais de incêndio foram adequados aos fenômenos estudados e a ferramenta utilizada nas simulações numéricas, Fire Dynamics Simulator, foi satisfatória. Dado as simplificações necessárias, o método numérico utilizado neste estudo pode ser empregado para simulações de incêndios, em edificações reais, a fim de se obter uma análise do comportamento do fogo, no interior de edificações, durante um incêndio natural, bem como verificar a real eficácia das exigências normativas em vigor de segurança contra incêndio aplicadas nas edificações.

O tempo necessário para rodar as simulações numéricas de incêndio em um computador com processador Intel® Core™ i7-7700 CPU @ 3.60 GHz 3.6 GHz, memória RAM de 16 GB e sistema operacional 64 bits, processador com base x64, foi de aproximadamente:

- 5 dias para a simulação de 500MJ/m², 5 dias e 5 horas para a simulação de 800MJ/m², 5 dias e 22 horas para a simulação de 1000MJ/m², no caso hipotético I;
- 12 dias e 20 horas para a configuração arquitetônica com 19,9% de aberturas na fachada e, de 13 dias e 4 horas na configuração com 50%, no caso hipotético II;
- 27 dias e 10 horas no estudo de caso das lojas conjugadas.

Esta é uma limitação importante do método pois apresenta um enorme custo computacional, demandando elevado tempo de processamento para a execução das simulações numéricas.

De maneira geral, respeitadas as simplificações e as limitações do método, as simulações numéricas de incêndio das condições normativas para compartimentação horizontal previstas na IT09/CBPMESP (2018) obtiveram os seguintes resultados:

- a) As regras para o afastamento lateral entre aberturas adjacentes em um mesmo paramento externo, de unidades autônomas vizinhas, foram parcialmente eficientes pois, embora as temperaturas e fluxos de calor irradiados, medidos junto às aberturas, não sejam suficientes para produzir a autoignição de sólidos combustíveis, os efeitos térmicos verificados de carbonização e fusão de polímeros são significativos e, podem se tornar facilitadores da formação de um foco secundário de incêndio. Além disso, foi verificado que os valores das

temperaturas e dos fluxos de calor medidos durante a simulação computacional variaram consideravelmente com a carga de incêndio, ou seja, a temperatura máxima medida na carga de incêndio de 1000MJ/m^2 , foi 1,37 vezes maior que a temperatura máxima medida para 500MJ/m^2 e, o fluxo de calor máximo medido na configuração de 1000MJ/m^2 , foi 2,99 vezes maior do que na carga de incêndio de 500MJ/m^2 . A IT 09/2018 (CBPMESP, 2018) não considera a carga de incêndio como um parâmetro para determinação das regras de compartimentação, o que pode significar uma condição de insegurança, uma vez que tem influência direta nas variáveis condicionantes de propagação de incêndio.

- b) As regras para afastamento entre edificações vizinhas confrontantes em um mesmo plano não foram suficientes para evitar a propagação horizontal do incêndio, e o foco principal foi capaz de gerar foco secundário na edificação confrontante em, pelo menos, uma das configurações simuladas. A simulação numérica mostrou que as temperaturas e os fluxos de calor medidos na fachada confrontante da edificação vizinha são suficientes para produzir a autoignição de sólidos combustíveis e gerar queimaduras de 2º grau na pele humana quando exposta e desprotegida.

Concluiu-se que as normas possuem fragilidades que permitem configurações arquitetônicas, bem como o seu uso/ocupação, que potencializam a probabilidade da propagação do incêndio, e por isso precisam sofrer reformulações e atualizações. Além disso, o critério para determinação da taxa de abertura nas fachadas possibilita aos compartimentos obter taxa percentual superior ao percentual delimitado para fachada da edificação.

As simulações computacionais de incêndio do estudo de caso das lojas conjugadas, demonstraram que os afastamentos usuais entre lojas vizinhas em polos comerciais são insuficientes para evitar a propagação horizontal de incêndio, e constitui um fator importante na condição de risco dessas áreas, uma vez que o incêndio pode se propagar facilmente para as lojas vizinhas potencializando os efeitos de um foco inicial e dificultando a contenção e extinção por parte do serviço profissional de bombeiros. Convém reformular as regras de ocupação de solo municipais e criar parâmetros de distanciamento mínimo entre lojas vizinhas para evitar a propagação horizontal de incêndio, e incluí-las nos procedimentos de emissão de alvará de funcionamento.

Para estudos futuros, sugere-se:

- análise da severidade de incêndio em função da arquitetura interna das unidades autônomas das edificações (altura, largura e comprimento) a fim de obter resultados sobre a distribuição das temperaturas no interior do ambiente sinistrado;
- a execução de simulações numéricas de incêndio variando as taxas de aberturas de fachada de edificações confrontantes, mantendo fixo o afastamento entre edificações, para determinar a influência das aberturas nos valores medidos de fluxos de calor irradiado e temperaturas na edificação confrontante;
- estudo da malha ideal a fim de minimizar o custo computacional mantendo um resultado confiável na análise numérica;
- estudo numérico para verificar se as prescrições de normas sobre compartimentação vertical de incêndio em edifícios são eficientes.

8. REFERÊNCIAS

ANDRADE, T. M. **Compartimentação de Edifícios para a segurança contra incêndio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2018, 321 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR13860: Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio**. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 14432: Exigência de Resistência ao Fogo de Elementos de Construção de Edificações**. Rio de Janeiro, 2000.

BABRAUSKAS, V., AND WILLIAMSON, R.B. **Post flashover compartment fires: basis of a theoretical model**. Fire and Materials, 2, p. 39-53. 1978.

BEYLER, C., BEITEL, J., IWANKIW, N., LATTIMER, B. **Fire Resistance Testing for Performance-based Fire Design of Buildings**. Final Report, NIST GCR 07-910. 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/265869742_Fire_Resistance_Testing_for_Performance-based_Fire_Design_of_Buildings_Final_Report>. Acesso em: 19 fev. 2019.

BHATIA, S.C. **Advanced Renewable Energy Systems**. Biomass gasification. Woodhead Publishing India Pvt. Ltd. 2014.

BRAGA, G. C. B. **A temperatura e fluxo de calor em uma situação de incêndio e seu impacto nos bombeiros**. Flammae, volume 2, n. 4, p.09-28. 2016.

BABRAUSKAS, V., AND WILLIAMSON, R.B. **Post flashover compartment fires: basis of a theoretical model**. Fire and Materials, 2, p. 39-53. 1978.

BULLEN, M.L. **A combined overall and surface energy balance for fully developed ventilation controlled liquid fuel fires in compartments**. Fire Research, 1, p. 171-185. 1977.

BUTCHER, E.G., BEDFORD, G.K., e FARDELL, P.J. **Further experiments on temperatures reached by steel in building fires**. Joint Fire Research Organization Symposium No. 2, HMSO, London, pp. 2-17. 1968.

COCHARD, S. **Validation of the freeware 'Fire Dynamics Simulator Version 2.0' for simulating Tunnel Fires**. 2003.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO - CBPMESP. **Instrução Técnica no 03/2004: Terminologia de Segurança contra Incêndio**. Secretaria de estado dos negócios da Segurança Pública. Corpo de bombeiros. São Paulo, 2004.

_____. **Instrução Técnica N° 9 / 2018: Compartimentação horizontal e compartimentação vertical.** São Paulo: Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública, 2018.

_____. **Instrução Técnica N° 14 / 2019: Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco.** São Paulo: Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública, 2018.

CUNHA, L. J. B. De F. **O Desempenho da Compartimentação Horizontal Seletiva na Promoção da Segurança Contra Incêndio em Edificações.** Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2016.

DE HAAN, J. D, ICOVE, D. J. **Kirk's Fire Investigation: Pearson New International Edition** (p. 153). Pearson Education Limited. Edição do Kindle, 2014.

DRYSDALE, D. **An Introduction to Fire Dynamics.** 2. ed. Edinburgh, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2006.

FRIEDMAN, R. **Chemical equilibrium.** In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5. ed. (eds P.J. Di Nenno et al.), pp. 6.160-6.185. Society of Fire Protection Engineers, Maryland. 2016.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HU L. H., CHEN L. F., TANG W. **A global model on temperature profile of buoyant ceiling gas flow in a channel with combining mass and heat loss due to ceiling extraction and longitudinal forced air flow.** International Journal of Heat and Mass Transfer, v.79, p. 885-892, 2014.

HUGGET, C. **Estimation of rate of heat release by means of oxygen consumption measurements.** Fire and Materials, v.4, p. 61-65, 1980.

HURLEY, M. J et al. **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering.** 5. ed. Mariland, USA: Springer, 2015.

INCÊNDIO e desabamento do prédio no Largo do Paissandu completam um ano. **G1 SP.** 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2019/05/01/incendio-e-desabamento-do-predio-no-largo-do-paissandu-completa-um-ano-veja-o-que-se-sabe-sobre-o-caso.ghtml>>. Acessado em: 15 jul. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 834: **Fire-resistance tests — Elements of building construction.** Geneva, 1999.

KAWAGOE, K., e SEKINE, T. **Estimation of temperature-time curves in rooms.** Occasional Report No. 11, Building Research Institute, Tokyo. 1963.

LAWSON, J. R., **Fire Facts**, NIST *Special Publication* 1102, NISTIR 6400, *National Institute of Standards and Technology*, Gaithersburg, MD, Agosto 2009.

LUCENA, F. de O. **Monografia: Arte e técnica da construção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2011. ISBN: 978-85-399-0085-5.

MARCATTI, J.; COELHO FILHO, H. S.; BERQUÓ FILHO, H. S. **Compartimentação e afastamento entre edificações**. In: SEITO, A. I.; GILL, A. A.; PANNONI, F. D.; ONO, R.; SILVA, S. B.; DEL CARLO, U.; SILVA, V. P. (Ed.). *A segurança contra incêndio no Brasil*. São Paulo: Projeto Editora, 2008. cap. 3, p. 169-179.

MALHOTRA, H. L. **Fire Safety in Buildings**. São Paulo: Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública, 1993. 33p.

MALISKA, C. R. **Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacionais: Fundamentos e coordenadas generalizadas**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

McDERMOTT, R. J. **A velocity divergence constraint for large-eddy simulation of low-Mach flows**. *Journal of Computational Physics*, v.274, p.413-431. 2014.

McGRATTAN, K. **Fire Dynamics Simulator (version 4)** – Technical reference guide. Washington/ EUA: 2006, NIST Special publication 1018.

McGRATTAN, K, et al. **Fire Dynamics Simulator User's Guide: Sixth Edition**. NIST Special Publication 1019: National Institute of Standards and Technology - NIST, Maryland (EUA), 2017.

NAKAYA, I., TANAKA, T., YOSHIDA, K., AND STECKLER, K. **Doorway flow induced by a propane fire**. *Fire Safety Journal*, 10, p. 185-195. 1986.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY – NIST. **Fire Dynamics Simulator**, versão 6.1.2, 2017. Disponível em: <<https://code.google.com/p/fds-smv/>>.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY – NIST. **Smokeview**, versão 6.1.12, 2017. Disponível em: <<https://code.google.com/p/fds-smv/>>.

PORANTIM, M. **O Método hipotético-dedutivo**. Livre Pensamento, 2013. Disponível em: <<http://livrepensamento.com/2013/10/01/o-metodo-hipotetico-dedutivo/>>. Acesso em: 20. Mar. 2019.

RINNE, TUOMO, HIETANIEMI, JUKKA & HOSTIKKA, SIMO. **Experimental Validation of the FDS Simulations of Smoke and Toxic Gas Concentrations**. VTT Working Papers, 37p. Finlândia. 2007. ISBN: 978-951-38-6617-4.

RODRIGUES, E. C. R. **Análise da eficiência do sistema de compartimentação vertical externa por afastamento entre janelas e por projeções horizontais segundo as exigências normativas brasileiras.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre/ RS. 2009.

SEITO, A. I. (coord.), et al.. **A segurança contra incêndio no Brasil.** São Paulo: Projeto editora, 2008. 496p. ISBN: 978-85-61295-00-4.

SHARMAN, P. K., GERA B., SINGH R. K.. **A CFD Validation of Fire Dynamics Simulator for Corner Fire.** CFD Letters, Vol 2(4). 2010.

SHI, C.L.; LU, W.Z.; CHOW, W.K.; HUO, R. **An investigation on spill plume development and natural filling in large full-scale atrium under retail shop fire.** World Wide Web of Heat and Mass Transfer (The Electronic Journal of Heat and Mass Transfer), v. 50, p. 513-529, 2007.

SMARDZ, P. **Validation of Fire Dynamics Simulator (FDS) for forced e natural convection flows.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Segurança em Incêndio) – University of Ulster, Irlanda do Norte. 2006, 120 p.

THOMAS, P.H., HESELDEN, A.J.M. **Fully developed fires in single compartments. A cooperative research programme of the Conseil Internationale du Batiment.** Conseil Internationale du Batiment Report No. 20, Fire Research Note No. 923. 1972.

WALTON, W.D., and TOMAS, P.H. **Estimating temperatures in compartment fire,** In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd Edition (eds P.J. Di Nenno et al.), pp. 3.134-3.147. Society of Fire Protection Engineers, Boston. 1995.

WEAST, R. C. (ed). **Handbook of Chemistry and Physics.** 54th. ed. Edinburgh, Chemical Rubber Company, Ohio. 1974.

WU, JIAN-FU; WANG, YUN. **Issues Analysis on the Fire Compartmentation of Ecological Restaurant.** World Wide Web of Procedia Engineering (The Electronic Journal of Procedia Engineering), v. 135, p. 90-98, 2016.

YONG DU; GUO-QIANG. **A new temperature–time curve for fire-resistance analysis of structures.** World Wide Web of Fire Safety Journal (The Electronic Journal of Fire Safety Journal), v. 54, p. 113-120, 2012.

ANEXO A – ÁREAS DE RISCO E CARGA DE INCÊNDIO:

01) CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES E ÁREAS DE RISCO QUANTO À OCUPAÇÃO (IT 03/2004 - CBPMESP, 2004)

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitação unifamiliar	Casas térreas ou assobradadas (isoladas e não isoladas)
		A-2	Habitação multifamiliar	Edifícios de apartamentos e condomínios residenciais em geral.
		A-3	Habitação coletiva	Pensionatos, internatos, alojamentos, mosteiros, conventos, residências geriátricas. Capacidade máxima de 16 leitos.
B	Serviço de hospedagem	B-1	Hotel e assemelhado	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, pousadas, albergues, casas de cômodos e divisão A3 com mais de 16 leitos e assemelhados.
		B-2	Hotel residencial	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais) e assemelhados.
C	Comercial	C-1	Comércio com baixa carga de incêndio.	Armarinhos, mercearias, butiques, artigos de metal, louças, artigos hospitalares e outros.
		C-2	Comercializados com média e alta carga de incêndio.	Edifícios de lojas de departamentos, magazines, galerias comerciais, supermercados em geral, mercados e outros.
		C-3	Centro comerciais.	Centro de compras em geral (<i>shopping centers</i>).
D	Serviço profissional	D-1	Repartição pública e local para prestação de serviço profissional ou condução de negócios; clínica, consultório médico, odontológico e veterinário.	Edificações do Executivo, Legislativo e Judiciário, tribunais e cartórios; escritórios administrativos ou técnicos, instituições financeiras (que não estejam incluídas em D-2), repartições públicas, cabeleireiros e centros profissionais; clínicas médicas, consultórios em geral, unidades de hemodiálise e ambulatórios (todos sem internação) e assemelhados.
		D-2	Agência bancária	Agências bancárias e assemelhados
		D-3	Serviço de reparação (exceto os classificados em G-4 e I)	Lavanderias, assistência técnica, reparação e manutenção de aparelhos eletrodomésticos, chaveiros pintura de letreiros e outros.
		D-4	Laboratório	Laboratórios de análises clínicas sem internação, laboratórios químicos, fotográficos e assemelhados.
E	Educacional e cultura física	E-1	Escola em geral	Escolas de primeiro, segundo e terceiro graus, cursos supletivos e pré-universitário e assemelhados.
		E-2	Escola especial	Escolas de artes e artesanato, de línguas, de cultura geral, de cultura estrangeira, escolas religiosas e assemelhados.
		E-3	Espaço para cultura física	Locais de ensino e/ou práticas de artes marciais, ginástica (artística, dança musculação e outros) esportes coletivos (tênis, futebol e outros que não estejam incluídos em F-3), sauna, casas de fisioterapia e assemelhados.
		E-4	Centro de treinamento profissional	Escolas profissionais em geral.
		E-5	Pré-escola	Creches, escolas maternas, jardins-de-infância.
		E-6	Escola para portadores de deficiências	Escolas para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e assemelhados.

Continua

Continuação

F	Local de reunião de público	F-1	Local onde há objeto de valor inestimável	Museus, centro de documentos históricos, bibliotecas e assemelhados.
		F-2	Local religioso e velório	Igrejas, capelas, sinagogas, mesquitas, templos, cemitérios, crematórios, necrotérios, salas de funerais e assemelhados.
		F-3	Centro esportivo e de exibição	Estádios, ginásios e piscinas com arquibancadas, rodeios, autódromos, sambódromos, arenas em geral, academias, pista de patinação e assemelhados.
		F-4	Estação e terminal de passageiro	Estações rodoferroviárias e marítimas, portos, metrô, aeroportos, heliponto, estações de transbordo em geral e assemelhados.
		F-5	Arte cênica e auditório	Teatros em geral, cinemas, óperas, auditórios de estúdios de rádio e televisão, auditórios em geral e assemelhados.
		F-6	Clubes social e Diversão	Boates, clubes noturnos em geral, salões de baile, restaurantes dançantes, clubes sociais, bingo, bilhares, tiro ao alvo, boliche e assemelhados.
		F-7	Construção provisória	Circos e assemelhados
		F-8	Local para refeição	Restaurantes, lanchonetes, bares, cafés, refeitórios, cantinas e assemelhados.
		F-9	Recreação pública	Jardim zoológico, parques recreativos e assemelhados. Edificações permanentes.
		F-10	Exposição de objetos e animais	Salões e salas de exposição de objetos e animais, show-room, galerias de arte, aquários, planetários, e assemelhados. Edificações permanentes.
G	Serviço automotivo e assemelhados	G-1	Garagem sem acesso de público e sem abastecimento	Garagens automáticas.
		G-2	Garagem com acesso de público e sem abastecimento	Garagens coletivas sem automação, em geral, sem abastecimento (exceto veículos de carga e coletivos).
		G-3	Local dotado de abastecimento de combustível	Postos de abastecimento e serviço, garagens (exceto veículos de carga e coletivos).
		G-4	Serviço de conservação, manutenção e reparos.	Oficinas de conserto de veículos, borracharia (sem recauchutagem). Oficinas e garagens de veículos de carga e coletivos, máquinas agrícolas e rodoviárias, retificadoras de motores.
		G-5	Hangares	Abrigos para aeronaves com ou sem abastecimento
H	Serviço de saúde institucional	H-1	Hospital veterinário e assemelhados	Hospitais, clínicas e consultórios veterinários e assemelhados (inclui-se alojamento com ou sem adestramento)
		H-2	Local onde pessoas requerem cuidados especiais por limitações físicas ou mentais	Asilos, orfanatos, abrigos geriátricos, hospitais psiquiátricos, reformatórios, tratamento de dependentes de drogas, álcool. E assemelhados. Todos sem celas.
		H-3	Hospital e assemelhados	Hospitais, casa de saúde, prontos-socorros, clínicas com internação, ambulatórios e postos de atendimento de urgência, postos de saúde e puericultura e assemelhados com internação.
		H-4	Edificações das forças armadas e policiais.	Quartéis, centrais de polícia, delegacias, postos policiais e assemelhados.
		H-5	Local onde a liberdade das pessoas sofre restrições.	Hospitais psiquiátricos, manicômios, reformatórios, prisões em geral (casa de detenção, penitenciárias, presídios) e instituições assemelhadas. Todos com celas.

Continua

Continuação

I	Indústria	I-1	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados apresentam baixo potencial de incêndio. Locais onde a carga de incêndio não chega a 300MJ/m ² .	Atividades que manipulam materiais com baixo risco de incêndio tais como fábricas em geral, onde os processos não envolvem a utilização intensiva de materiais combustíveis (aço; aparelhos de rádio e som; armas; artigos de metal; gesso; esculturas de pedra; ferramentas; fotogravuras; jóias; relógios; sabão; serralheria; suco de frutas; louças; metais; máquinas)
		I-2	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados apresentam médio potencial de incêndio. Locais com carga de incêndio entre 300 a 1200MJ/m ² .	Atividades que manipulam materiais com médio risco de incêndio, tais como artigos de vidro; automóveis; bebidas destiladas; instrumentos musicais; móveis; alimentos; marcenaria; fábricas de caixas e assemelhados.
		I-3	Locais onde há alto risco de incêndio. Locais com carga de incêndio superior a 1200 MJ/m ² .	Atividades industriais que envolvam líquidos e gases inflamáveis, materiais oxidantes, destilarias, refinarias, ceras, espuma sintética, elevadores de grãos, tintas, borracha e assemelhados.
J	Depósito	J-1	Depósitos de material incombustível.	Edificações sem processo industrial que armazenam tijolos, pedras, areias, cimentos, metais e outros materiais incombustíveis. Todos sem embalagem.
		J-2	Todo tipo de Depósito	Depósitos com carga de incêndio até 300MJ/m ² .
		J-3	Todo tipo de Depósito	Depósitos com carga de incêndio entre 300 a 1200MJ/m ² .
		J-4	Todo tipo de Depósito	Depósitos onde a carga de incêndio ultrapassa a 1200MJ/m ² .
L	Explosivos	L-1	Comércio	Comércio em geral de fogos de artifício e assemelhados.
		L-2	Indústria	Indústria de material explosivo
		L-3	Depósito	Depósito de material explosivo
M	Especial	M-1	Túnel	Túnel rodoviário e marítimo, destinados a transporte de passageiros ou cargas diversas.
		M-2	Tanques ou Parque de Tanques	Edificação destinada a produção, manipulação, armazenamento e distribuição de líquidos ou gases combustíveis e inflamáveis.
		M-3	Central de comunicação e energia	Central telefônica, centros de comunicação, centrais de transmissão ou de distribuição de energia e assemelhados.
		M-4	Propriedade em transformação	Locais em construção ou demolição e assemelhados.
		M-5	Processamento de lixo	Propriedade destinada ao processamento, reciclagem ou armazenamento de material recusado/descartado.
		M-6	Terra selvagem	Floresta, reserva ecológica, parque florestal e assemelhados.
		M-7	Pátio de Containers	Área aberta destinada a armazenamento de containers.

02) CARGAS DE INCÊNDIO ESPECÍFICAS POR OCUPAÇÃO (IT 014/2019 - CBPMESP, 2019)

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio (q _n) em MJ/m ²
Residencial	Alojamentos estudantis	A-3	300
	Apartamentos	A-2	300
	Casas térreas ou sobrados	A-1	300
	Pensionatos	A-3	300
Serviços de hospedagem	Hotéis	B-1	500
	Motéis	B-1	500
	Apart-hotéis	B-2	500
Comercial varejista, Loja Ver item 5.2	Açougue	C-1	40
	Animais ("pet shop")	C-2	600
	Antiguidades	C-2	700
	Aparelhos eletrodomésticos	C-1	300
	Aparelhos eletrônicos	C-2	400
	Armarinhos	C-2	700
	Armas	C-1	300
	Artigos de bijuteria, metal ou vidro	C-1	300
	Artigos de cera	C-2	2100
	Artigos de couro, borracha, esportivos	C-2	800
	Automóveis	C-1	200
	Bebidas destiladas	C-2	500
	Brinquedos	C-2	500
	Calçados	C-2	500
	Couro, artigos de	C-2	700
	Drogarias (incluindo depósitos)	C-2	1000
	Esportes, artigos de	C-2	800
	Ferragens	C-1	300
	Floricultura	C-1	80
	Galeria de quadros	C-1	200
	Joalheria	C-1	300
	Livrarias	C-2	1000
	Lojas de departamento ou centro de compras (shoppings)	C-2/C-3	800
	Materiais de construção	C-2	800
	Máquinas de costura ou de escritório	C-1	300
	Materiais fotográficos	C-1	300
	Móveis	C-2	400
	Papelarias	C-2	700
	Perfumarias	C-2	400
	Produtos têxteis	C-2	600
	Relojoarias	C-2	500
	Supermercados (vendas)	C-2	500
	Tapetes	C-2	800
	Tintas e vernizes	C-2	1000
	Verduras frescas	C-1	200
	Vinhos	C-1	200
	Vulcanização	C-2	1000
Serviços profissionais, pessoais e técnicos	Agências bancárias	D-2	300
	Agências de correios	D-1	400
	Centrais telefônicas	D-1	200
	Cabeleireiros	D-1	200
	Copiadora	D-1	400
	Encadernadoras	D-1	1000
	Escritórios	D-1	700
	Estúdios de rádio ou de televisão ou de fotografia	D-1	300
	Laboratórios químicos	D-4	500

Continua

Continuação

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio (q _n) em MJ/m ²
Serviços profissionais, pessoais e técnicos	Laboratórios (outros)	D-4	300
	Lavanderias	D-3	300
	Oficinas elétricas	D-3	600
	Oficinas hidráulicas ou mecânicas	D-3	200
	Pinturas	D-3	500
	Processamentos de dados	D-1	400
Educacional e cultura física	Academias de ginástica e similares	E-3	300
	Pré-escolas e similares	E-5	300
	Creches e similares	E-5	300
	Escolas em geral	E-1/E-2/E-4/E-6	300
Locais de reunião de Público	Bibliotecas	F-1	2000
	Cinemas, teatros e similares	F-5	600
	Circos e assemelhados	F-7	500
	Centros esportivos e de exibição	F-3	150
	Clubes sociais e salão de festas	F-6	600
	Estações e terminais de passageiros	F-4	200
	Exposições de objetos e animais	F-10	Adotar Anexo B ou C
	Igrejas e templos	F-2	200
	Lan house, jogos eletrônicos	F-6	450
	Museus	F-1	300
	Padarias comerciais	F-8	300
	Restaurantes, Lanchonetes, Bares, Cafés, Re-feitórios, Cantinas e assemelhados	F-8	300
	Boates, casas noturnas, danceterias, discotecas e assemelhados	F-11	600
Serviços automotivos e assemelhados	Estacionamentos	G-1/G-2	200
	Oficinas de conserto de veículos e manutenção	G-4	300
	Postos de abastecimentos (tanque enterrado)	G-3	300
	Hangares	G-5	200
Serviços de saúde e Institucionais	Asilos	H-2	350
	Clínicas e consultórios médicos ou odontológicos	H-6	250
	Hospitais em geral	H-1/H-3	300
	Presídios e similares	H-5	200
	Quartéis e similares	H-4	450
	Veterinárias	H-1	300
*Industrial *Ver item 5.2	Aparelhos eletroeletrônicos, fotográficos, ópticos	I-2	400
	Acessórios para automóveis	I-1	300
	Acetileno	I-2	700
	Alimentação (alimentos)	I-2	800
	Aço, corte e dobra, sem pintura, sem embalagem	I-1	40
	Artigos de borracha, coriça, couro, feltro, espuma	I-2	600
	Artigos de argila, cerâmica ou porcelanas	I-1	200
	Artigos de bijuteria	I-1	200
	Artigos de cera	I-2	1000
	Artigos de gesso	I-1	80
	Artigos de madeira em geral	I-2	800
	Artigos de madeira, impregnação	I-3	3000
	Artigos de mármore	I-1	40
	Artigos de metal, forjados	I-1	80
	Artigos de metal, fresados	I-1	200
	Artigos de peles	I-2	500
	Artigos de plásticos em geral	I-2	1000

Continua

Continuação

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio (q _n) em MJ/m ²
Industrial *Ver item 5.2	Artigos de tabaco	I-1	200
	Artigos de vidro	I-1	80
	Asfalto, manipulação de	I-2	800
	Automotiva e autopeças (exceto pintura)	I-1	300
	Automotiva e autopeças (pintura)	I-2	500
	Aviões	I-2	600
	Balanças	I-1	300
	Barcos de madeira ou de plástico	I-2	600
	Barcos de metal	I-2	600
	Baterias/Acumuladores	I-2	800
	Bebidas destilada	I-2	500
	Bebidas não alcoólicas	I-1	80
	Bicicletas	I-1	200
	Brinquedos	I-2	500
	Café (inclusive torrefação)	I-2	400
	Caixotes barris ou pallets de madeira	I-2	1000
	Calçados	I-2	600
	Carpintarias e marcenarias	I-2	800
	Cera de polimento	I-3	2000
	Cerâmica	I-1	200
	Cereais	I-3	1700
	Cervejarias	I-1	80
	Chapas de aglomerado ou compensado	I-1	300
	Chocolate	I-2	400
	Cimento	I-1	40
	Cobertores, tapetes	I-2	600
	Colas	I-2	800
	Colchões (exceto espuma)	I-2	500
	Condimentos, conservas	I-1	40
	Confeitarias	I-2	400
	Congelados	I-2	800
	Cortiça, artigos de	I-2	600
	Couro, curtume	I-2	700
	Couro sintético	I-2	1000
	Defumados	I-1	200
	Discos de música	I-2	600
	Doces	I-2	800
	Espumas	I-3	3000
	Estaleiros	I-2	700
	Farinhas	I-3	2000
	Feltros	I-2	600
	Fermentos	I-2	80
	Ferragens	I-1	300
	Fiações	I-2	600
	Fibras sintéticas	I-1	300
	Fios elétricos	I-1	300
	Flores artificiais	I-1	300
	Fornos de secagem com grade de madeira	I-2	1000
	Forragem	I-3	2000
	Frigoríficos	I-3	2000
	Fundições de metal	I-1	40
	Galpões de secagem com grade de madeira	I-2	400
	Galvanoplastia	I-1	200
	Geladeiras	I-2	1000
	Gelatinas	I-2	800
	Gesso	I-1	80

Continua

Continuação

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio (qfi) em MJ/m²
Industrial *Ver item 5.2	Gorduras comestíveis	I-2	1000
	Gráficas (empacotamento)	I-3	2000
	Gráficas (produção)	I-2	400
	Guarda-chuvas	I-1	300
	Instrumentos musicais	I-2	600
	Janelas e portas de madeira	I-2	800
	Jóias	I-1	200
	Laboratórios farmacêuticos	I-1	300
	Laboratórios químicos	I-2	500
	Lápis	I-2	600
	Lâmpadas	I-1	40
	Latas metálicas, sem embalagem	I-1	100
	Laticínios	I-1	200
	Malas, fábrica	I-2	1000
	Malharias	I-1	300
	Máquinas de lavar de costura ou de escritório	I-1	300
	Massas alimentícias	I-2	1000
	Mastiques	I-2	1000
	Matadouro	I-1	40
	Materiais sintéticos	I-3	2000
	Materiais usados, tratamento de	I-3	3400
	Metalúrgica	I-1	200
	Montagens de automóveis	I-1	300
	Motocicletas	I-1	300
	Motores elétricos	I-1	300
	Móveis	I-2	600
	Olarias	I-1	100
	Óleos comestíveis e óleos em geral	I-2	1000
	Padarias industriais	I-2	1000
	Papéis (acabamento)	I-2	500
	Papéis (preparo de celulose)	I-1	80
	Papéis (procedimento)	I-2	800
	Papelões betuminados	I-3	2000
	Papelões ondulados	I-2	800
	Pedras	I-1	60
	Perfumes	I-1	300
	Pneus	I-2	700
	Produtos adesivos	I-2	1000
	Produtos de adubo químico	I-1	200
	Produtos alimentícios (expedição)	I-2	1000
	Produtos com ácido acético	I-1	200
	Produtos com ácido carbônico	I-1	40
	Produtos com ácido inorgânico	I-1	80
	Produtos com albumina	I-3	2000
	Produtos com alcatrão	I-2	800
	Produtos com amido	I-3	2000
	Produtos com soda	I-1	40
	Produtos de limpeza	I-3	2000
	Produtos graxos	I-2	1000
	Produtos refratários	I-1	200
	Rações balanceadas	I-2	1100
	Relógios	I-1	300
	Resinas	I-3	3000
	Resinas, em placas	I-2	800
	Roupas	I-2	500
	Sabões	I-1	300
	Sacos de papel	I-2	800

Continua

Continuação

Industrial *Ver item 5.2	Sacos de juta	I-2	500
	Serralheria	I-1	200
	Sorvetes	I-1	80
	Sucos de fruta	I-1	200
	Tapetes	I-2	600
	Têxteis em geral (tecidos)	I-2	700
	Tintas e solventes	I-3	4000
	Tintas e vernizes	I-3	2000
	Tintas látex	I-2	800
	Tintas não-inflamáveis	I-1	200
	Transformadores	I-1	200
	Tratamento de madeira	I-3	3000
	Tratores	I-1	300
	Vagões	I-1	200
	Vassouras ou escovas	I-2	700
	Velas de cera	I-3	1300
	Vídras ou espelhos	I-1	200
	Vinagres	I-1	80
	Vulcanização	I-2	1000
Nota: <i>Para ocupações do grupo K, observar as orientações da IT 37.</i>			

ANEXO B - ARQUIVO FDS: AMBIENTE HIPOTÉTICO CASO I

a) Lojas comerciais com carga de incêndio específica de 500MJ/m²

Comp horizontal Aberturas adj_500_25_05.fds

Generated by PyroSim - Version 2019.3.1204

07/01/2020 11:41:54

-----User Section (not generated by PyroSim)-----

&VENT SURF_ID='OPEN', MB='XMIN'/

&VENT SURF_ID='OPEN', MB='XMAX'/

&VENT SURF_ID='OPEN', MB='YMIN'/

&VENT SURF_ID='OPEN', MB='YMAX'/

&VENT SURF_ID='OPEN', MB='ZMAX'/

&BNDF QUANTITY='BURNING RATE'/

&BNDF QUANTITY='CONVECTIVE HEAT FLUX'/

&BNDF QUANTITY='NET HEAT FLUX'/

&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'/

&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

-----PyroSim-generated Section-----

&HEAD CHID='Comp_horizontal_Aberturas_adj_500_25_05'/

&TIME T_END=3600.0/

&MISC RESTART=.FALSE./

&DUMP COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_PL3D=200.0, DT_RESTART=300.0,
WRITE_XYZ=.TRUE./

&MESH ID='Mesh01', IJK=134,100,40, XB=-0.2,26.6,-5.0,15.0,0.0,8.0/

&REAC ID='Wood Pine (pinho)',

FYI='Wood Pine SFPE (hand book)',

FUEL='REAC_FUEL',
 C=3.4,
 H=6.2,
 O=2.5,
 AUTO_IGNITION_TEMPERATURE=384.0,
 CO_YIELD=0.05,
 SOOT_YIELD=0.015,
 HEAT_OF_COMBUSTION=1.79E4/

&DEVC ID='TEMP 01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=18.4,-0.05,2.4,
 ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP 02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=13.0,-0.05,2.4/

&DEVC ID='TEMP 03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.0,-0.05,2.3,
 ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP 04', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.8,9.6,2.4,
 ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP 05', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=16.4,9.6,2.3,
 ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP 06', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=18.4,9.6,2.4,
 ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP 07', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=12.8,4.8,1.0/

&DEVC ID='TEMP 08', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=12.8,4.8,2.46/

&DEVC ID='TEMP 09', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=12.8,4.8,5.5/

&DEVC ID='TIMER', QUANTITY='TIME', XYZ=0.0,0.0,1.5,
 ORIENTATION=1.0,0.0,0.0, SETPOINT=15.0, INITIAL_STATE=.TRUE./

&DEVC ID='HEAT FLUX 01', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
 XYZ=18.4,-0.05,2.46, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='HEAT FLUX 04', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
 XYZ=7.8,9.6,2.46, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='HEAT FLUX 06', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
 XYZ=18.4,9.6,2.46, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP PAREDE 01', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=18.4,-
 0.05,2.4, IOR=-2/

&DEVC ID='TEMP PAREDE 03', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=7.0,-
 0.05,2.3, IOR=-2/

&DEVC ID='TEMP PAREDE 04', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=7.8,9.6,2.4, IOR=2/

&DEVC ID='TEMP PAREDE 06', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=18.4,9.6,2.4, IOR=2/

&MATL ID='TIJOLO',

SPECIFIC_HEAT=0.84,

CONDUCTIVITY=0.69,

DENSITY=1600.0/

&MATL ID='Madeira_MATL',

SPECIFIC_HEAT=1.36,

CONDUCTIVITY=0.13,

DENSITY=369.6,

HEAT_OF_COMBUSTION=1.79E4/

&MATL ID='CONCRETE',

SPECIFIC_HEAT=0.754,

CONDUCTIVITY=1.35,

DENSITY=2500.0,

EMISSIVITY=0.94/

&SURF ID='PAREDE',

MATL_ID(1,1)='TIJOLO',

MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,

THICKNESS(1)=0.013,

MATL_ID='TIJOLO',

BURN_AWAY=.FALSE.,

THICKNESS=0.013/

&SURF ID='ADIABATIC',

COLOR='GRAY 80',

ADIABATIC=.TRUE./

&SURF ID='MADEIRA',

COLOR='ORANGE',

HRRPUA=175.0,

TAU_Q=-1.0,

IGNITION_TEMPERATURE=384.0,

BURN_AWAY=.TRUE.,


```

TAU_T=-1.0,
MATL_ID(1,1)='Madeira_MATL',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
THICKNESS(1)=0.02,
GEOMETRY='CARTESIAN',
LENGTH=0.0,
WIDTH=0.0/
&SURF ID='LAJE',
  RGB=217,255,247,
  MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.013/
&SURF ID='HEATER',
  RGB=230,0,0,
  NET_HEAT_FLUX=100.0/

&OBST ID='Piso', XB=0.0,26.4,0.0,9.6,0.0,0.2, SURF_ID='INERT'/
&OBST ID='Parede', XB=0.0,26.4,0.0,0.2,0.2,5.7, OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='PAREDE'/
&OBST ID='Parede', XB=26.2,26.4,0.2,9.4,0.2,5.7, SURF_ID='ADIABATIC'/
&OBST ID='Parede', XB=0.0,26.4,9.4,9.6,0.2,5.7, SURF_ID='PAREDE'/
&OBST ID='Parede', XB=0.0,0.2,0.2,9.4,0.2,5.7, SURF_ID='ADIABATIC'/
&OBST ID='PCF', XB=8.8,9.0,0.2,9.4,0.2,5.7, SURF_ID='PAREDE'/
&OBST ID='PCF', XB=17.3,17.5,0.2,10.5,0.2,5.7, SURF_ID='PAREDE'/
&OBST ID='Madeira', XB=9.8,10.8,1.0,8.2,0.6,0.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Madeira', XB=11.8,12.8,1.0,8.2,0.6,0.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Madeira', XB=15.8,16.8,1.0,8.2,0.6,0.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Madeira', XB=13.8,14.8,1.0,8.2,0.6,0.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Teto', XB=0.0,26.4,2.164935E-15,9.6,5.6,5.8, SURF_ID='LAJE'/
&OBST ID='Heater', XB=9.2,17.2,0.4,9.2,0.2,0.2, SURF_ID='INERT'/

&HOLE ID='Hole', XB=6.0,7.0,0.0,0.2,0.2,2.4/
&HOLE ID='Hole', XB=16.0,17.0,9.4,9.6,0.2,2.4/

```

```

&HOLE ID='Hole', XB=24.0,25.0,0.0,0.2,0.2,2.4/
&HOLE ID='Hole', XB=9.8,16.4,0.0,0.2,1.3,2.5/
&HOLE ID='Hole', XB=18.4,23.6,0.0,0.2,1.3,2.5/
&HOLE ID='Hole', XB=9.8,15.3,9.4,9.6,1.3,2.5/
&HOLE ID='Hole', XB=1.8,7.8,9.4,9.6,1.3,2.5/
&HOLE ID='Hole', XB=18.4,24.0,9.4,9.6,1.3,2.5/
&HOLE ID='Hole', XB=1.84222,3.524056,0.0,0.2,1.3,2.5/

&VENT ID='Vent', SURF_ID='HEATER', XB=9.2,17.2,0.4,9.2,0.24,0.24,
DEVC_ID='TIMER'/

&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/
&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=384.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=4.8/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=-0.01/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.46/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=9.6/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=12.8/

&TAIL /

```

b) Lojas comerciais com carga de incêndio específica de 800MJ/m²

Comp horizontal Aberturas adj_800_07_01.fds
Generated by PyroSim - Version 2019.3.1204
07/01/2020 12:03:01

-----User Section (not generated by PyroSim)-----

```

&VENT SURF_ID='OPEN', MB='XMIN'/
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='XMAX'/
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='YMIN'/
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='YMAX'/
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='ZMAX'/

```

```
&BNDF QUANTITY='BURNING RATE'/
&BNDF QUANTITY='CONVECTIVE HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='NET HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/
```

-----PyroSim-generated Section-----

```
&HEAD CHID='Comp_horizontal_Aberturas_adj_800_24_05'/
&TIME T_END=3600.0/
&MISC RESTART=.FALSE./
&DUMP COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_PL3D=200.0, DT_RESTART=300.0,
WRITE_XYZ=.TRUE./
```

```
&MESH ID='Mesh01', IJK=134,100,40, XB=-0.2,26.6,-5.0,15.0,0.0,8.0/
```

```
&REAC ID='Wood Pine (pinho)',
  FYI='Wood Pine SFPE (hand book)',
  FUEL='REAC_FUEL',
  C=3.4,
  H=6.2,
  O=2.5,
  AUTO_IGNITION_TEMPERATURE=384.0,
  CO_YIELD=0.05,
  SOOT_YIELD=0.015,
  HEAT_OF_COMBUSTION=1.79E4/
```

```
&DEVC ID='TEMP 01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=18.4,-0.05,2.4,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
```

```
&DEVC ID='TEMP 02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=13.0,-0.05,2.4/
```

```
&DEVC ID='TEMP 03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.0,-0.05,2.3,
ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
```

```
&DEVC ID='TEMP 04', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.8,9.6,2.4,
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
```

```
&DEVC ID='TEMP 05', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=16.4,9.6,2.3,
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
```

&DEVC ID='TEMP 06', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=18.4,9.6,2.4,
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP 07', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=12.8,4.8,1.0/

&DEVC ID='TEMP 08', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=12.8,4.8,2.46/

&DEVC ID='TEMP 09', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=12.8,4.8,5.5/

&DEVC ID='TIMER', QUANTITY='TIME', XYZ=0.0,0.0,1.5,
ORIENTATION=1.0,0.0,0.0, SETPOINT=15.0, INITIAL_STATE=.TRUE./

&DEVC ID='HEAT FLUX 01', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=18.4,-0.05,2.46, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='HEAT FLUX 04', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=7.8,9.6,2.46, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='HEAT FLUX 06', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=18.4,9.6,2.46, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP PAREDE 01', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=18.4,-
0.05,2.4, IOR=-2/

&DEVC ID='TEMP PAREDE 03', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=7.0,-
0.05,2.3, IOR=-2/

&DEVC ID='TEMP PAREDE 04', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=7.8,9.6,2.4, IOR=2/

&DEVC ID='TEMP PAREDE 06', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=18.4,9.6,2.4, IOR=2/

&MATL ID='TIJOLO',

SPECIFIC_HEAT=0.84,

CONDUCTIVITY=0.69,

DENSITY=1600.0/

&MATL ID='Madeira_MATL',

SPECIFIC_HEAT=1.36,

CONDUCTIVITY=0.13,

DENSITY=369.6,

HEAT_OF_COMBUSTION=1.79E4/

&MATL ID='CONCRETE',

SPECIFIC_HEAT=0.754,

CONDUCTIVITY=1.35,

DENSITY=2500.0,

EMISSION=0.94/

&SURF ID='PAREDE',

MATL_ID(1,1)='TIJOLO',

MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,

THICKNESS(1)=0.013,

MATL_ID='TIJOLO',

BURN_AWAY=.FALSE.,

THICKNESS=0.013/

&SURF ID='ADIABATIC',

COLOR='GRAY 80',

ADIABATIC=.TRUE./

&SURF ID='MADEIRA',

COLOR='ORANGE',

HRRPUA=175.0,

TAU_Q=-1.0,

IGNITION_TEMPERATURE=384.0,

BURN_AWAY=.TRUE.,

TAU_T=-1.0,

MATL_ID(1,1)='Madeira_MATL',

MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,

THICKNESS(1)=0.02,

GEOMETRY='CARTESIAN',

LENGTH=0.0,

WIDTH=0.0/

&SURF ID='LAJE',

RGB=217,255,247,

MATL_ID(1,1)='CONCRETE',

MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,

THICKNESS(1)=0.013/

&SURF ID='HEATER',

RGB=230,0,0,

NET_HEAT_FLUX=100.0/

&OBST ID='Piso', XB=0.0,26.4,0.0,9.6,0.0,0.2, SURF_ID='INERT'/

```

&OBST ID='Parede', XB=0.0,26.4,0.0,0.2,0.2,5.7, OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='PAREDE'/
&OBST ID='Parede', XB=26.2,26.4,0.2,9.4,0.2,5.7, SURF_ID='ADIABATIC'/
&OBST ID='Parede', XB=0.0,26.4,9.4,9.6,0.2,5.7, SURF_ID='PAREDE'/
&OBST ID='Parede', XB=0.0,0.2,0.2,9.4,0.2,5.7, SURF_ID='ADIABATIC'/
&OBST ID='PCF', XB=8.8,9.0,0.2,9.4,0.2,5.7, SURF_ID='PAREDE'/
&OBST ID='PCF', XB=17.3,17.5,0.2,10.5,0.2,5.7, SURF_ID='PAREDE'/
&OBST ID='Madeira', XB=9.8,10.8,2.0,7.8,0.6,0.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Madeira', XB=9.8,10.8,2.0,7.8,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Madeira', XB=11.8,12.8,2.0,7.8,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Madeira', XB=11.8,12.8,2.0,7.8,0.6,0.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Madeira', XB=15.8,16.8,2.0,7.8,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Madeira', XB=15.8,16.8,2.0,7.8,0.6,0.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Madeira', XB=13.8,14.8,2.0,7.8,0.6,0.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Madeira', XB=13.8,14.8,2.0,7.8,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Teto', XB=0.0,26.4,2.164935E-15,9.6,5.6,5.8, SURF_ID='LAJE'/
&OBST ID='Heater', XB=9.2,17.2,0.4,9.2,0.2,0.2, SURF_ID='INERT'/

&HOLE ID='Hole', XB=6.0,7.0,0.0,0.2,0.2,2.4/
&HOLE ID='Hole', XB=16.0,17.0,9.4,9.6,0.2,2.4/
&HOLE ID='Hole', XB=24.0,25.0,0.0,0.2,0.2,2.4/
&HOLE ID='Hole', XB=9.8,16.4,0.0,0.2,1.3,2.5/
&HOLE ID='Hole', XB=18.4,23.6,0.0,0.2,1.3,2.5/
&HOLE ID='Hole', XB=9.8,15.3,9.4,9.6,1.3,2.5/
&HOLE ID='Hole', XB=1.8,7.8,9.4,9.6,1.3,2.5/
&HOLE ID='Hole', XB=18.4,24.0,9.4,9.6,1.3,2.5/
&HOLE ID='Hole', XB=1.84222,3.524056,0.0,0.2,1.3,2.5/

&VENT ID='Vent', SURF_ID='HEATER', XB=9.2,17.2,0.4,9.2,0.24,0.24,
DEVIC_ID='TIMER'/

```

```

&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/
&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=384.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=4.8/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=-0.01/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.46/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=9.6/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=12.8/

```

```

&TAIL /

```

c) Lojas comerciais com carga de incêndio específica de 1000MJ/m²

Comp horizontal Aberturas adj_1000_07_01.fds

Generated by PyroSim - Version 2019.3.1204

07/01/2020 12:00:18

-----User Section (not generated by PyroSim)-----

```

&VENT SURF_ID='OPEN', MB='XMIN'/
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='XMAX'/
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='YMIN'/
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='YMAX'/
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='ZMAX'/

```

```

&BNDF QUANTITY='BURNING RATE'/
&BNDF QUANTITY='CONVECTIVE HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='NET HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

```

-----PyroSim-generated Section-----

&HEAD CHID='Comp_horizontal_Aberturas_adj_1000_25_04'/

&TIME T_END=3600.0/

&MISC RESTART=.FALSE./

&DUMP COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_PL3D=200.0, DT_RESTART=300.0,
WRITE_XYZ=.TRUE./

&MESH ID='Mesh01', IJK=134,100,40, XB=-0.2,26.6,-5.0,15.0,0.0,8.0/

&REAC ID='Wood Pine (pinho)',

 FYI='Wood Pine SFPE (hand book)',

 FUEL='REAC_FUEL',

 C=3.4,

 H=6.2,

 O=2.5,

 AUTO_IGNITION_TEMPERATURE=384.0,

 CO_YIELD=0.05,

 SOOT_YIELD=0.015,

 HEAT_OF_COMBUSTION=1.79E4/

&DEVC ID='TEMP 01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=18.4,-0.05,2.4,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP 02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=13.0,-0.05,2.4/

&DEVC ID='TEMP 03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.0,-0.05,2.3,
ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP 04', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.8,9.6,2.4,
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP 05', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=16.4,9.6,2.3,
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP 06', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=18.4,9.6,2.4,
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP 07', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=12.8,4.8,1.0/

&DEVC ID='TEMP 08', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=12.8,4.8,2.46/

&DEVC ID='TEMP 09', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=12.8,4.8,5.5/


```
&DEVC ID='TIMER', QUANTITY='TIME', XYZ=0.0,0.0,1.5,
ORIENTATION=1.0,0.0,0.0, SETPOINT=15.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
```

```
&DEVC ID='HEAT FLUX 01', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=18.4,-0.05,2.46, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
```

```
&DEVC ID='HEAT FLUX 04', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=7.8,9.6,2.46, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
```

```
&DEVC ID='HEAT FLUX 06', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=18.4,9.6,2.46, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
```

```
&DEVC ID='TEMP PAREDE 01', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=18.4,-
0.05,2.4, IOR=-2/
```

```
&DEVC ID='TEMP PAREDE 03', QUANTITY='WALL TEMPERATURE', XYZ=7.0,-
0.05,2.3, IOR=-2/
```

```
&DEVC ID='TEMP PAREDE 04', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=7.8,9.6,2.4, IOR=2/
```

```
&DEVC ID='TEMP PAREDE 06', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=18.4,9.6,2.4, IOR=2/
```

```
&MATL ID='TIJOLO',
```

```
    SPECIFIC_HEAT=0.84,
```

```
    CONDUCTIVITY=0.69,
```

```
    DENSITY=1600.0/
```

```
&MATL ID='Madeira_MATL',
```

```
    SPECIFIC_HEAT=1.36,
```

```
    CONDUCTIVITY=0.13,
```

```
    DENSITY=369.6,
```

```
    HEAT_OF_COMBUSTION=1.79E4/
```

```
&MATL ID='CONCRETE',
```

```
    SPECIFIC_HEAT=0.754,
```

```
    CONDUCTIVITY=1.35,
```

```
    DENSITY=2500.0,
```

```
    EMISSIVITY=0.94/
```

```
&SURF ID='PAREDE',
```

```
    MATL_ID(1,1)='TIJOLO',
```

```
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
```

```
    THICKNESS(1)=0.013,
```

```

MATL_ID='TIJOLO',
BURN_AWAY=.FALSE.,
THICKNESS=0.013/
&SURF ID='ADIABATIC',
COLOR='GRAY 80',
ADIABATIC=.TRUE./
&SURF ID='MADEIRA',
COLOR='ORANGE',
HRRPUA=175.0,
TAU_Q=-1.0,
IGNITION_TEMPERATURE=384.0,
BURN_AWAY=.TRUE.,
TAU_T=-1.0,
MATL_ID(1,1)='Madeira_MATL',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
THICKNESS(1)=0.02,
GEOMETRY='CARTESIAN',
LENGTH=0.0,
WIDTH=0.0/
&SURF ID='LAJE',
RGB=217,255,247,
MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
THICKNESS(1)=0.013/
&SURF ID='HEATER',
RGB=230,0,0,
NET_HEAT_FLUX=100.0/

&OBST ID='Piso', XB=0.0,26.4,0.0,9.6,0.0,0.2, SURF_ID='INERT'/
&OBST ID='Parede', XB=0.0,26.4,0.0,0.2,0.2,5.7, OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='PAREDE'/
&OBST ID='Parede', XB=26.2,26.4,0.2,9.4,0.2,5.7, SURF_ID='ADIABATIC'/
&OBST ID='Parede', XB=0.0,26.4,9.4,9.6,0.2,5.7, SURF_ID='PAREDE'/
&OBST ID='Parede', XB=0.0,0.2,0.2,9.4,0.2,5.7, SURF_ID='ADIABATIC'/
&OBST ID='PCF', XB=8.8,9.0,0.2,9.4,0.2,5.7, SURF_ID='PAREDE'/

```

```

&OBST ID='PCF', XB=17.3,17.5,0.2,10.5,0.2,5.7, SURF_ID='PAREDE'/
&OBST ID='Madeira', XB=9.8,10.8,1.0,8.2,0.6,0.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Madeira', XB=9.8,10.8,1.0,8.2,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Madeira', XB=11.8,12.8,1.0,8.2,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Madeira', XB=11.8,12.8,1.0,8.2,0.6,0.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Madeira', XB=15.8,16.8,1.0,8.2,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Madeira', XB=15.8,16.8,1.0,8.2,0.6,0.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Madeira', XB=13.8,14.8,1.0,8.2,0.6,0.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Madeira', XB=13.8,14.8,1.0,8.2,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
&OBST ID='Teto', XB=0.0,26.4,2.164935E-15,9.6,5.6,5.8, SURF_ID='LAJE'/
&OBST ID='Heater', XB=9.2,17.2,0.4,9.2,0.2,0.2, SURF_ID='INERT'/

&HOLE ID='Hole', XB=6.0,7.0,0.0,0.2,0.2,2.4/
&HOLE ID='Hole', XB=16.0,17.0,9.4,9.6,0.2,2.4/
&HOLE ID='Hole', XB=24.0,25.0,0.0,0.2,0.2,2.4/
&HOLE ID='Hole', XB=9.8,16.4,0.0,0.2,1.3,2.5/
&HOLE ID='Hole', XB=18.4,23.6,0.0,0.2,1.3,2.5/
&HOLE ID='Hole', XB=9.8,15.3,9.4,9.6,1.3,2.5/
&HOLE ID='Hole', XB=1.8,7.8,9.4,9.6,1.3,2.5/
&HOLE ID='Hole', XB=18.4,24.0,9.4,9.6,1.3,2.5/
&HOLE ID='Hole', XB=1.84222,3.524056,0.0,0.2,1.3,2.5/

&VENT ID='Vent', SURF_ID='HEATER', XB=9.2,17.2,0.4,9.2,0.24,0.24,
DEVC_ID='TIMER'/

&BNDF QUANTITY='GAS TEMPERATURE'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=384.0/

```

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=4.8/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=-0.01/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.46/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=9.6/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=12.8/

&TAIL /

ANEXO C - ARQUIVO FDS: AMBIENTE HIPOTÉTICO CASO II

a) Prédio de escritórios com 20% de taxa de abertura nas fachadas confrontantes.

ESCRITORIOS_20%_15_01.fds

Generated by PyroSim - Version 2019.3.1204

15/01/2020 19:16:58

-----User Section (not generated by PyroSim)-----

```
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='XMIN'/
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='XMAX'/
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='YMIN'/
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='YMAX'/
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='ZMAX'/
```

```
&BNDF QUANTITY='BURNING RATE'/
&BNDF QUANTITY='CONVECTIVE HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='NET HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/
```

-----PyroSim-generated Section-----

```
&HEAD CHID='ESCRITORIOS_20%_15_01'/
&TIME T_END=2100.0/
&MISC RESTART=.FALSE./
&DUMP COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_PL3D=200.0, DT_RESTART=200.0,
DT_SL3D=0.25, WRITE_XYZ=.TRUE.,
PLOT3D_QUANTITY(1:3)='TEMPERATURE','V-VELOCITY'/

&MESH ID='Mesh 0,10 m', RGB=240,240,55, IJK=130,64,34, XB=-
0.2,12.8,4.127898,10.527898,2.8,6.2/
```

&MESH ID='Mesh_1_0,20', RGB=100,240,248, IJK=94,22,66, XB=-0.2,18.6,-0.272102,4.127898,-0.2,13.0/

&MESH ID='Mesh_2_0,20', RGB=252,39,36, IJK=29,32,66, XB=12.8,18.6,4.127898,10.527898,-0.2,13.0/

&MESH ID='Mesh_3_0,20', RGB=37,16,255, IJK=65,32,15, XB=-0.2,12.8,4.127898,10.527898,-0.2,2.8/

&MESH ID='Mesh_4_0,20', RGB=11,72,249, IJK=65,32,34, XB=-0.2,12.8,4.127898,10.527898,6.2,13.0/

&REAC ID='Wood Pine (pinho)',

FYI='Wood Pine SFPE (hand book)',

FUEL='REAC_FUEL',

C=3.4,

H=6.2,

O=2.5,

AUTO_IGNITION_TEMPERATURE=384.0,

CO_YIELD=0.05,

SOOT_YIELD=0.015,

HEAT_OF_COMBUSTION=1.79E4/

&DEVC ID='TIMER', QUANTITY='TIME', XYZ=0.0,-0.072102,1.5, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0, SETPOINT=15.0, INITIAL_STATE=.TRUE./

&DEVC ID='TEMP 01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=12.7,5.7,5.2/

&DEVC ID='TEMP 02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=16.6,5.7,5.0, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP 03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=16.6,5.7,8.2, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP 04', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=16.6,5.7,11.2, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP TERREO', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.9,5.0,2.1, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP INC 3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.4,5.727898,5.7/

&DEVC ID='TEMP INC 2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.4,5.727898,5.0/

&DEVC ID='TEMP INC 1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.4,5.727898,4.0/

&DEVC ID='HEAT FLUX 02', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=16.6,5.7,5.0, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='HEAT FLUX 03', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=16.6,5.7,8.2, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='HEAT FLUX 04', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=16.6,5.7,11.2, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='HEAT FLUX TERREO', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=17.9,5.0,2.1, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP PAREDE 02', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=16.6,5.7,4.0, IOR=-1/

&DEVC ID='TEMP PAREDE 03', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=16.6,5.7,5.4, IOR=-1/

&DEVC ID='TEMP PAREDE 04', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=16.6,5.7,8.4, IOR=-1/

&DEVC ID='TEMP PAREDE 05', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=16.6,5.7,11.4, IOR=-1/

&DEVC ID='TEMP PAREDE TERREO', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=17.9,5.0,2.2, IOR=-1/

&DEVC ID='TEMP 2_PAVTO', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.4,5.7,8.6/

&DEVC ID='TEMP 3_PAVTO', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.4,5.7,11.6/

&MATL ID='CONCRETE',
SPECIFIC_HEAT=0.754,
CONDUCTIVITY=1.35,
DENSITY=2500.0,
EMISSIVITY=0.94/

&MATL ID='TIJOLO',
SPECIFIC_HEAT=0.84,
CONDUCTIVITY=0.69,
DENSITY=1600.0/

&MATL ID='Madeira_MATL',
SPECIFIC_HEAT=1.36,
CONDUCTIVITY=0.13,
DENSITY=369.6,
HEAT_OF_COMBUSTION=1.79E4/

```
&SURF ID='LAJE',
  RGB=217,255,247,
  BACKING='INSULATED',
  MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.013/
```

```
&SURF ID='PAREDE',
  BACKING='INSULATED',
  MATL_ID(1,1)='TIJOLO',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.013,
  MATL_ID='TIJOLO',
  BURN_AWAY=.FALSE.,
  THICKNESS=0.013/
```

```
&SURF ID='MADEIRA',
  COLOR='ORANGE',
  HRRPUA=175.0,
  TAU_Q=-1.0,
  IGNITION_TEMPERATURE=384.0,
  BURN_AWAY=.TRUE.,
  TAU_T=-1.0,
  MATL_ID(1,1)='Madeira_MATL',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.02,
  GEOMETRY='CARTESIAN',
  LENGTH=0.0,
  WIDTH=0.0/
```

```
&SURF ID='HEATER',
  RGB=230,0,0,
  NET_HEAT_FLUX=100.0/
```

```
&OBST ID='corredor 1 pavto', XB=0.15,12.15,3.15,3.3,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/
&OBST ID='corredor 1 pavto', XB=0.15,12.55,4.35,4.5,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/
&OBST ID='escada 1 pavto', XB=6.05,6.2,0.15,3.15,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/
&OBST ID='banheiro 1 pavto', XB=1.45,1.6,0.15,3.15,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/
```


&OBST ID='corredor 1 pavto', XB=0.15,12.15,3.15,3.3,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='corredor 1 pavto', XB=0.15,12.55,4.35,4.5,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='escada 1 pavto', XB=6.05,6.2,0.15,3.15,9.0,11.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='banheiro 1 pavto', XB=1.45,1.6,0.15,3.15,9.0,11.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede terreo', XB=0.15,11.4,3.15,3.3,0.0,2.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='parede terreo', XB=6.0,6.15,0.0,3.15,0.0,2.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='parede terreo', XB=1.45,1.6,0.0,3.15,0.0,2.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='corredor 1 pavto', XB=0.15,12.15,3.15,3.3,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='corredor 1 pavto', XB=0.15,12.55,4.35,4.5,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='escada 1 pavto', XB=6.05,6.2,0.15,3.15,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='banheiro 1 pavto', XB=1.45,1.6,0.15,3.15,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fach lat esq 1pavto 2', XB=17.399817,18.399817,-4.352044E-
4,0.149565,3.0,5.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Fach lat esq 2pavto 2', XB=17.399817,18.399817,-4.352044E-
4,0.149565,6.0,8.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Facha lat esq 3pavto 2', XB=17.399817,18.399817,-4.352044E-
4,0.149565,9.0,11.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Teto', XB=0.0,12.2,-0.072102,3.127898,11.8,12.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Teto', XB=0.0,12.6,3.127898,4.127898,11.8,12.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Teto', XB=0.0,12.2,6.727898,10.327898,11.8,12.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Teto', XB=0.0,12.6,4.127898,6.727898,11.8,12.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 1 pavto', XB=0.0,12.3,6.827898,10.427898,5.8,6.0,
SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 1 pavto', XB=0.0,12.6,4.127898,6.827898,5.8,6.0,
SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 1 pavto', XB=0.0,12.2,-0.072102,3.127898,5.8,6.0,
SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 1 pavto', XB=0.0,12.6,3.127898,4.127898,5.8,6.0,
SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 1 pavto', XB=0.0,12.2,-0.072102,3.127898,8.8,9.0,
SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 1 pavto', XB=0.0,12.6,3.127898,4.127898,8.8,9.0,
SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 1 pavto', XB=0.0,12.2,6.727898,10.327898,8.8,9.0,
SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 1 pavto', XB=0.0,12.6,4.127898,6.727898,8.8,9.0,
SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 1 pavto', XB=0.0,12.3,6.827898,10.427898,2.8,3.0,
SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 1 pavto', XB=0.0,12.6,4.127898,6.827898,2.8,3.0,
SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 1 pavto', XB=0.0,12.2,-0.072102,3.127898,2.8,3.0,
SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 1 pavto', XB=0.0,12.6,3.127898,4.127898,2.8,3.0,
SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='parede ext 1 pavto', XB=0.0,0.1,4.127898,10.227898,6.0,6.2,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 1 pavto', XB=0.0,12.3,10.227898,10.427898,6.0,6.2,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 1 pavto', XB=12.1,12.3,6.827898,10.227898,6.0,6.2,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 1 pavto', XB=12.1,12.6,6.627898,6.827898,6.0,6.2,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 1 pavto', XB=12.4,12.6,4.127898,6.627898,6.0,6.2,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 1 pavto', XB=0.0,0.2,0.127898,4.127898,6.0,8.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 1 pavto', XB=0.0,12.2,-0.072102,0.127898,6.0,8.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 1 pavto', XB=12.2,12.6,3.127898,3.327898,6.0,8.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 1 pavto', XB=12.4,12.6,3.327898,4.127898,6.0,8.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 1 pavto', XB=12.2,12.2,0.127898,3.127898,6.0,8.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 1 pavto', XB=0.0,0.2,4.127898,10.327898,6.2,8.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 1 pavto', XB=12.4,12.6,4.127898,6.727898,6.2,8.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 1 pavto', XB=0.2,12.2,10.327898,10.327898,6.2,8.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 1 pavto', XB=12.2,12.4,6.727898,6.727898,6.2,8.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 1 pavto', XB=12.2,12.2,6.727898,10.327898,6.2,8.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 1 pavto', XB=0.0,0.2,0.127898,4.127898,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 1 pavto', XB=0.0,12.2,-0.072102,0.127898,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=12.2,12.6,3.127898,3.327898,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=12.4,12.6,3.327898,4.127898,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=12.2,12.2,0.127898,3.127898,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=0.0,0.2,4.127898,10.327898,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=12.4,12.6,4.127898,6.727898,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=0.2,12.2,10.327898,10.327898,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=12.2,12.4,6.727898,6.727898,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=12.2,12.2,6.727898,10.327898,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=0.0,0.1,4.127898,10.227898,3.0,5.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=0.0,12.3,10.227898,10.427898,3.0,5.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=12.1,12.3,6.827898,10.227898,3.0,5.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=12.1,12.6,6.627898,6.827898,3.0,5.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=12.4,12.6,4.127898,6.627898,3.0,5.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=0.0,0.2,0.127898,4.127898,3.0,5.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=0.0,12.2,-0.072102,0.127898,3.0,5.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=12.2,12.6,3.127898,3.327898,3.0,5.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=12.4,12.6,3.327898,4.127898,3.0,5.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=12.2,12.2,0.127898,3.127898,3.0,5.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Piso', XB=0.0,12.0,-0.072102,4.127898,-0.2,-2.775558E-17,
SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Piso', XB=0.0,12.0,4.127898,10.327898,-0.2,0.0, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Paredes externas terreo', XB=0.0,0.2,0.127898,4.127898,-2.775558E-
17,2.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Paredes externas terreo', XB=0.0,12.0,-0.072102,0.127898,-2.775558E-17,2.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Paredes externas terreo', XB=11.2,11.4,3.327898,4.127898,-2.775558E-17,2.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Paredes externas terreo', XB=11.2,12.0,3.127898,3.327898,-2.775558E-17,2.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Paredes externas terreo', XB=11.8,12.0,0.127898,3.127898,-2.775558E-17,2.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Paredes externas terreo', XB=0.0,0.2,4.127898,10.327898,0.0,2.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Paredes externas terreo', XB=11.2,11.4,4.127898,10.327898,0.0,2.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Paredes externas terreo', XB=0.2,11.2,10.327898,10.327898,0.0,2.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Piso terreo 2', XB=17.4,18.4,-0.072102,4.127898,-0.2,-2.775558E-17, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Piso terreo 2', XB=17.4,18.4,4.127898,10.327898,-0.2,-2.775558E-17, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Fachada lat terreo 2', XB=18.0,18.4,10.327898,10.327898,-2.775558E-17,2.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Fachada terreo 2', XB=17.4,17.6,0.127898,3.127898,-2.775558E-17,2.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada terreo 2', XB=17.4,18.0,3.127898,3.327898,-2.775558E-17,2.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada terreo 2', XB=17.4,18.4,-0.072102,0.127898,-2.775558E-17,2.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada terreo 2', XB=17.8,18.0,3.327898,4.127898,-2.775558E-17,2.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada terreo 2', XB=17.8,18.0,4.127898,10.327898,-2.775558E-17,2.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 1pavto 2', XB=16.6,16.8,3.327898,4.127898,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 1pavto 2', XB=16.6,17.2,3.127898,3.327898,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 1pavto 2', XB=17.0,17.2,0.127898,3.127898,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 1pavto 2', XB=17.0,17.4,-0.072102,0.127898,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 1pavto 2', XB=16.6,16.8,4.127898,6.727898,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 1pavto 2', XB=17.0,17.2,6.727898,10.327898,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 1pavto 2', XB=16.8,17.0,6.727898,6.727898,3.0,5.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Laje terreo 2', XB=16.6,18.4,3.127898,4.127898,2.8,3.0,
SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Laje terreo 2', XB=17.0,18.4,-0.072102,3.127898,2.8,3.0,
SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Laje terreo 2', XB=16.6,18.4,4.127898,6.727898,2.8,3.0,
SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Laje terreo 2', XB=17.0,18.4,6.727898,10.327898,2.8,3.0,
SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Fachada 2pavto 2', XB=16.6,16.8,3.327898,4.127898,6.0,8.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 2pavto 2', XB=16.6,17.2,3.127898,3.327898,6.0,8.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 2pavto 2', XB=17.0,17.2,0.127898,3.127898,6.0,8.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 2pavto 2', XB=17.0,17.4,-0.072102,0.127898,6.0,8.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 2pavto 2', XB=16.6,16.8,4.127898,6.727898,6.0,8.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 2pavto 2', XB=17.0,17.2,6.727898,10.327898,6.0,8.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 2pavto 2', XB=16.8,17.0,6.727898,6.727898,6.0,8.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 3pavto 2', XB=16.6,16.8,3.327898,4.127898,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 3pavto 2', XB=16.6,17.2,3.127898,3.327898,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 3pavto 2', XB=17.0,17.2,0.127898,3.127898,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 3pavto 2', XB=17.0,17.4,-0.072102,0.127898,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 3pavto 2', XB=16.6,16.8,4.127898,6.727898,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 3pavto 2', XB=17.0,17.2,6.727898,10.327898,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 3pavto 2', XB=16.8,17.0,6.727898,6.727898,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fach lat dir 1pavto 2', XB=17.2,18.4,10.327898,10.327898,3.0,5.8,
SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Laje 1pavto 2', XB=16.6,18.4,3.127898,4.127898,5.8,6.0,
SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Laje 1pavto 2', XB=17.0,18.4,-0.072102,3.127898,5.8,6.0,
 SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Laje 1pavto 2', XB=16.6,18.4,4.127898,6.727898,5.8,6.0,
 SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Laje 1pavto 2', XB=17.0,18.4,6.727898,10.327898,5.8,6.0,
 SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Fach lat dir 2pavto 2', XB=17.2,18.4,10.327898,10.327898,6.0,8.8,
 SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Laje 2pavto 2', XB=16.6,18.4,3.127898,4.127898,8.8,9.0,
 SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Laje 2pavto 2', XB=17.0,18.4,-0.072102,3.127898,8.8,9.0,
 SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Laje 2pavto 2', XB=16.6,18.4,4.127898,6.727898,8.8,9.0,
 SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Laje 2pavto 2', XB=17.0,18.4,6.727898,10.327898,8.8,9.0,
 SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Fach lat dir 3pavto 2', XB=17.2,18.4,10.327898,10.327898,9.0,11.8,
 SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Laje 3pavto 2', XB=16.6,18.4,3.127898,4.127898,11.8,12.0,
 SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Laje 3pavto 2', XB=17.0,18.4,-0.072102,3.127898,11.8,12.0,
 SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Laje 3pavto 2', XB=16.6,18.4,4.127898,6.727898,11.8,12.0,
 SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Laje 3pavto 2', XB=17.0,18.4,6.727898,10.327898,11.8,12.0,
 SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Madeira', XB=1.6,11.2,5.027898,6.227898,3.5,3.6, RGB=240,80,25,
 BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=1.6,11.2,6.827898,8.027898,3.5,3.6, RGB=240,80,25,
 BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=1.6,11.2,8.627898,9.827898,3.5,3.6, RGB=240,80,25,
 BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=1.6,11.2,8.627898,9.827898,4.5,4.6, RGB=240,80,25,
 BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=1.6,11.2,6.827898,8.027898,4.5,4.6, RGB=240,80,25,
 BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=1.6,11.2,5.027898,6.227898,4.5,4.6, RGB=240,80,25,
 BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Heater', XB=1.2,11.0,4.627898,10.127898,3.0,3.0, SURF_ID='INERT'/

&HOLE ID='Hole escada 1 pavto', XB=11.2,12.1,3.15,3.3,6.0,8.1/

&HOLE ID='Janela fundos 1 pavto', XB=0.0,0.15,5.5,7.0,7.15,8.25/
 &HOLE ID='porta banheiro 1 pavto', XB=0.7,1.4,3.15,3.3,6.0,8.1/
 &HOLE ID='porta escritorio 1 pavto', XB=5.0,5.8,3.15,3.3,6.0,8.1/
 &HOLE ID='Escritorio 1 pavto', XB=11.3,12.2,4.35,4.5,6.0,8.1/
 &HOLE ID='Escritorio 1 pavto', XB=0.4,1.3,4.35,4.5,6.0,8.1/
 &HOLE ID='Janela1 fachada 1 pavto', XB=12.45,12.6,4.6,6.6,7.15,8.25/
 &HOLE ID='Janela2 fachada 1 pavto', XB=12.15,12.3,7.1,10.1,7.15,8.25/
 &HOLE ID='janela banheiro 1 pavto', XB=0.501677,1.005818,0.0,0.15,7.55,8.35/
 &HOLE ID='janela lateral 1 pavto', XB=3.083595,4.283595,0.0,0.15,7.15,8.25/
 &HOLE ID='janela corredor 1 pavto', XB=6.106227E-
 16,0.15,3.491047,4.195556,7.15,8.25/
 &HOLE ID='Janela corredor fach 1 pavto', XB=12.45,12.6,3.5,4.2,7.15,8.25/
 &HOLE ID='Janela fundos 1 pavto', XB=0.0,0.2,8.0,9.5,7.15,8.25/
 &HOLE ID='Hole escada 1 pavto', XB=11.2,12.1,3.15,3.3,9.0,11.1/
 &HOLE ID='Janela fundos 1 pavto', XB=0.0,0.15,5.5,7.0,10.15,11.25/
 &HOLE ID='porta banheiro 1 pavto', XB=0.7,1.4,3.15,3.3,9.0,11.1/
 &HOLE ID='porta escritorio 1 pavto', XB=5.0,5.8,3.15,3.3,9.0,11.1/
 &HOLE ID='Escritorio 1 pavto', XB=11.3,12.2,4.35,4.5,9.0,11.1/
 &HOLE ID='Escritorio 1 pavto', XB=0.4,1.3,4.35,4.5,9.0,11.1/
 &HOLE ID='Janela1 fachada 1 pavto', XB=12.45,12.6,4.6,6.6,10.15,11.25/
 &HOLE ID='Janela2 fachada 1 pavto', XB=12.15,12.3,7.1,10.1,10.15,11.25/
 &HOLE ID='janela banheiro 1 pavto', XB=0.501677,1.005818,0.0,0.15,10.55,11.35/
 &HOLE ID='janela lateral 1 pavto', XB=3.083595,4.283595,0.0,0.15,10.15,11.25/
 &HOLE ID='janela corredor 1 pavto', XB=6.106227E-
 16,0.15,3.491047,4.195556,10.15,11.25/
 &HOLE ID='Janela corredor fach 1 pavto', XB=12.45,12.6,3.5,4.2,10.15,11.25/
 &HOLE ID='Janela fundos 1 pavto', XB=0.0,0.2,8.0,9.5,10.15,11.25/
 &HOLE ID='Porta escada terreo', XB=11.85,12.0,0.4,1.3,0.0,2.1/
 &HOLE ID='escritorio terreo', XB=5.1,5.9,3.15,3.3,0.0,2.1/
 &HOLE ID='banheiro terreo', XB=0.65,1.35,3.15,3.3,0.0,2.1/
 &HOLE ID='Porta loja', XB=11.25,11.4,4.4,5.4,0.0,2.1/
 &HOLE ID='Janela loja', XB=11.25,11.4,7.4,9.2,1.1,2.2/
 &HOLE ID='banheiro terreo', XB=0.501677,1.005818,0.0,0.2,1.5,2.3/
 &HOLE ID='janela lateral terreo', XB=3.1,4.3,0.0,0.15,1.1,2.2/
 &HOLE ID='Hole escada 1 pavto', XB=11.2,12.1,3.15,3.3,3.0,5.1/
 &HOLE ID='Janela fundos 1 pavto', XB=0.0,0.15,5.5,7.0,4.15,5.25/

&HOLE ID='porta banheiro 1 pavto', XB=0.7,1.4,3.15,3.3,3.0,5.1/
 &HOLE ID='porta escritorio 1 pavto', XB=5.0,5.8,3.15,3.3,3.0,5.1/
 &HOLE ID='Escritorio 1 pavto', XB=11.3,12.2,4.35,4.5,3.0,5.1/
 &HOLE ID='Escritorio 1 pavto', XB=0.4,1.3,4.35,4.5,3.0,5.1/
 &HOLE ID='Janela1 fachada 1 pavto', XB=12.45,12.6,4.6,6.6,4.15,5.25/
 &HOLE ID='Janela2 fachada 1 pavto', XB=12.12,12.32,7.1,10.1,4.15,5.25/
 &HOLE ID='janela banheiro 1 pavto', XB=0.501677,1.005818,0.0,0.15,4.55,5.35/
 &HOLE ID='janela lateral 1 pavto', XB=3.083595,4.283595,0.0,0.15,4.15,5.25/
 &HOLE ID='janela corredor 1 pavto', XB=6.106227E-16,0.15,3.491047,4.195556,4.15,5.25/
 &HOLE ID='Janela corredor fach 1 pavto', XB=12.45,12.6,3.5,4.2,4.15,5.25/
 &HOLE ID='Janela fundos 1 pavto', XB=0.0,0.2,8.0,9.5,4.15,5.25/
 &HOLE ID='Porta escada terreo 2',
 XB=17.399817,17.549817,0.333148,1.238072,0.0,2.1/
 &HOLE ID='Porta loja 2', XB=17.872212,18.022212,4.484254,5.392609,0.0,2.1/
 &HOLE ID='Janela loja 2', XB=17.872212,18.022212,7.484254,9.218387,1.1,2.2/
 &HOLE ID='janela 1 esc 1pavto 2', XB=16.6,16.75,4.635463,6.604226,4.15,5.25/
 &HOLE ID='janela 2 esc 1pavto 2',
 XB=16.998144,17.148144,7.112463,10.112463,4.15,5.25/
 &HOLE ID='janela corredor 1pavto 2', XB=16.6,16.75,3.490611,4.195121,4.15,5.25/
 &HOLE ID='janela corredor 2pavto 2', XB=16.6,16.75,3.490611,4.195121,7.15,8.25/
 &HOLE ID='janela 1 esc 2pavto 2', XB=16.6,16.75,4.635463,6.604226,7.15,8.25/
 &HOLE ID='janela 2 esc 2pavto 2',
 XB=16.998144,17.148144,7.112463,10.112463,7.15,8.25/
 &HOLE ID='janela corredor 3pavto 2',
 XB=16.6,16.75,3.490611,4.195121,10.15,11.25/
 &HOLE ID='janela 1 esc 3pavto 2', XB=16.6,16.75,4.635463,6.604226,10.15,11.25/
 &HOLE ID='janela 2 esc 3pavto 2',
 XB=16.998144,17.148144,7.112463,10.112463,10.15,11.25/
 &HOLE ID='escada 1 pavto', XB=6.2,10.6,1.927898,3.127898,5.8,6.0/
 &HOLE ID='escada 1 pavto', XB=6.2,10.6,1.927898,3.127898,8.8,9.0/
 &HOLE ID='escada 1 pavto', XB=6.2,10.6,1.927898,3.127898,2.8,3.0/

 &VENT ID='Vent', SURF_ID='HEATER',
 XB=1.25,11.05,4.627898,10.127898,3.02,3.02, DEVC_ID='TIMER'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=5.2/


```
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=6.6/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=12.6/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=16.6/
```

```
&TAIL /
```

**b) Prédio de escritórios com 50% de taxa de abertura nas fachadas
confrontantes.**

ESCRITORIOS_50%_15_01.fds

Generated by PyroSim - Version 2019.3.1204

16/01/2020 12:54:47

-----User Section (not generated by PyroSim)-----

```
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='XMIN'/
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='XMAX'/
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='YMIN'/
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='YMAX'/
&VENT SURF_ID='OPEN', MB='ZMAX'/
```

```
&BNDF QUANTITY='BURNING RATE'/
&BNDF QUANTITY='CONVECTIVE HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='NET HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'/
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/
```

-----PyroSim-generated Section-----

```
&HEAD CHID='ESCRITORIOS_50%_15_01'/
&TIME T_END=2100.0/
&MISC RESTART=.TRUE./
&DUMP COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_PL3D=200.0, DT_RESTART=200.0,
DT_SL3D=0.25, WRITE_XYZ=.TRUE.,
PLOT3D_QUANTITY(1:3)='TEMPERATURE','V-VELOCITY'/
```

&MESH ID='Mesh 0,10 m', RGB=240,240,55, IJK=130,64,34, XB=-0.2,12.8,4.2,10.6,2.8,6.2/

&MESH ID='Mesh_1_0,20', RGB=100,240,248, IJK=108,22,66, XB=-0.2,21.4,-0.2,4.2,-0.2,13.0/

&MESH ID='Mesh_2_0,20', RGB=252,39,36, IJK=43,32,66, XB=12.8,21.4,4.2,10.6,-0.2,13.0/

&MESH ID='Mesh_3_0,20', RGB=37,16,255, IJK=65,32,15, XB=-0.2,12.8,4.2,10.6,-0.2,2.8/

&MESH ID='Mesh_4_0,20', RGB=11,72,249, IJK=65,32,34, XB=-0.2,12.8,4.2,10.6,6.2,13.0/

&REAC ID='Wood Pine (pinho)',

FYI='Wood Pine SFPE (hand book)',

FUEL='REAC_FUEL',

C=3.4,

H=6.2,

O=2.5,

AUTO_IGNITION_TEMPERATURE=384.0,

CO_YIELD=0.05,

SOOT_YIELD=0.015,

HEAT_OF_COMBUSTION=1.79E4/

&DEVC ID='TIMER', QUANTITY='TIME', XYZ=0.0,-0.072102,1.5, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0, SETPOINT=15.0, INITIAL_STATE=.TRUE./

&DEVC ID='TEMP 01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=12.7,5.7,5.2/

&DEVC ID='TEMP 02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=19.6,5.7,5.0, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP 03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=19.6,5.7,8.2, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP 04', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=19.6,5.7,11.2, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP TERREO', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=20.9,5.0,2.1, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP PAREDE 02', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=19.6,5.7,4.0, IOR=-1/

&DEVC ID='TEMP PAREDE 03', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=19.6,5.7,5.4, IOR=-1/

&DEVC ID='TEMP PAREDE 04', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=19.6,5.7,8.4, IOR=-1/

&DEVC ID='TEMP PAREDE 05', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=19.6,5.7,11.4, IOR=-1/

&DEVC ID='TEMP PAREDE TERREO', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=20.9,5.0,2.2, IOR=-1/

&DEVC ID='TEMP INC 3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.4,5.727898,5.7/

&DEVC ID='TEMP INC 2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.4,5.727898,5.0/

&DEVC ID='TEMP INC 1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.4,5.727898,4.0/

&DEVC ID='HEAT FLUX 02', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=19.6,5.7,5.0, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='HEAT FLUX 03', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=19.6,5.7,8.2, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='HEAT FLUX 04', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=19.6,5.7,11.2, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='HEAT FLUX TERREO', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=20.9,5.0,2.1, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='TEMP 2_PAVTO', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=5.4,5.727898,8.6/

&DEVC ID='TEMP 3_PAVTO', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=5.4,5.727898,11.6/

&MATL ID='CONCRETE',
SPECIFIC_HEAT=0.754,
CONDUCTIVITY=1.35,
DENSITY=2500.0,
EMISSIVITY=0.94/

&MATL ID='TIJOLO',
SPECIFIC_HEAT=0.84,
CONDUCTIVITY=0.69,
DENSITY=1600.0/

```
&MATL ID='Madeira_MATL',
    SPECIFIC_HEAT=1.36,
    CONDUCTIVITY=0.13,
    DENSITY=369.6,
    HEAT_OF_COMBUSTION=1.79E4/
```

```
&SURF ID='LAJE',
    RGB=217,255,247,
    BACKING='INSULATED',
    MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
    THICKNESS(1)=0.013/
```

```
&SURF ID='PAREDE',
    BACKING='INSULATED',
    MATL_ID(1,1)='TIJOLO',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
    THICKNESS(1)=0.013,
    MATL_ID='TIJOLO',
    BURN_AWAY=.FALSE.,
    THICKNESS=0.013/
```

```
&SURF ID='MADEIRA',
    COLOR='ORANGE',
    HRRPUA=175.0,
    TAU_Q=-1.0,
    IGNITION_TEMPERATURE=384.0,
    BURN_AWAY=.TRUE.,
    TAU_T=-1.0,
    MATL_ID(1,1)='Madeira_MATL',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
    THICKNESS(1)=0.02,
    GEOMETRY='CARTESIAN',
    LENGTH=0.0,
    WIDTH=0.0/
```

```
&SURF ID='HEATER',
    RGB=230,0,0,
```

NET_HEAT_FLUX=100.0/

&OBST ID='corredor 2 pavto', XB=0.15,12.15,3.15,3.3,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='corredor 2 pavto', XB=0.15,12.55,4.35,4.5,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='escada 2 pavto', XB=6.05,6.2,0.15,3.15,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='banheiro 2 pavto', XB=1.45,1.6,0.15,3.15,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='corredor 3 pavto', XB=0.15,12.15,3.15,3.3,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='corredor 3 pavto', XB=0.15,12.55,4.35,4.5,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='escada 3 pavto', XB=6.05,6.2,0.15,3.15,9.0,11.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='banheiro 3 pavto', XB=1.45,1.6,0.15,3.15,9.0,11.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede terreo', XB=0.15,11.4,3.15,3.3,0.0,2.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='parede terreo', XB=6.0,6.15,0.0,3.15,0.0,2.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='parede terreo', XB=1.45,1.6,0.0,3.15,0.0,2.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='corredor 1 pavto', XB=0.15,12.15,3.15,3.3,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='corredor 1 pavto', XB=0.15,12.55,4.35,4.5,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='escada 1 pavto', XB=6.05,6.2,0.15,3.15,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='banheiro 1 pavto', XB=1.45,1.6,0.15,3.15,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fach lat esq 1pavto 2', XB=20.399817,21.399817,-4.352044E-
4,0.149565,3.0,5.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Fach lat esq 2pavto 2', XB=20.399817,21.399817,-4.352044E-
4,0.149565,6.0,8.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Facha lat esq 3pavto 2', XB=20.399817,21.399817,-4.352044E-
4,0.149565,9.0,11.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Teto', XB=-2.775558E-17,12.2,0.0,3.2,11.8,12.0, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Teto', XB=-2.775558E-17,12.6,3.2,4.2,11.8,12.0, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Teto', XB=0.0,12.2,6.8,10.4,11.8,12.0, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Teto', XB=0.0,12.6,4.2,6.8,11.8,12.0, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Piso 2 pavto', XB=0.0,12.3,6.8,10.4,5.8,6.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 2 pavto', XB=0.0,12.6,4.2,6.8,5.8,6.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 2 pavto', XB=-2.775558E-17,12.2,0.0,3.2,5.8,6.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 2 pavto', XB=-2.775558E-17,12.6,3.2,4.2,5.8,6.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='parede ext 2 pavto', XB=0.0,0.1,4.2,10.2,6.0,6.2, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 2 pavto', XB=0.0,12.3,10.2,10.4,6.0,6.2,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 2 pavto', XB=12.1,12.3,6.8,10.2,6.0,6.2,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 2 pavto', XB=12.1,12.6,6.6,6.8,6.0,6.2, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 2 pavto', XB=12.4,12.6,4.2,6.6,6.0,6.2, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 2 pavto', XB=-2.775558E-17,0.2,0.2,4.2,6.0,8.8,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 2 pavto', XB=-2.775558E-17,12.2,0.0,0.2,6.0,8.8,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 2 pavto', XB=12.4,12.6,3.2,4.2,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 2 pavto', XB=12.2,12.4,3.2,3.2,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 2 pavto', XB=12.2,12.2,0.2,3.2,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 2 pavto', XB=0.0,0.2,4.2,10.2,6.2,8.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 2 pavto', XB=0.0,12.2,10.2,10.4,6.2,8.8,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 2 pavto', XB=12.2,12.6,6.6,6.8,6.2,8.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 2 pavto', XB=12.4,12.6,4.2,6.6,6.2,8.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 2 pavto', XB=12.2,12.2,6.8,10.2,6.2,8.8,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Piso 3 pavto', XB=-2.775558E-17,12.2,0.0,3.2,8.8,9.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 3 pavto', XB=-2.775558E-17,12.6,3.2,4.2,8.8,9.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 3 pavto', XB=0.0,12.2,6.8,10.4,8.8,9.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 3 pavto', XB=0.0,12.6,4.2,6.8,8.8,9.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='parede ext 3 pavto', XB=-2.775558E-17,0.2,0.2,4.2,9.0,11.8,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 3 pavto', XB=-2.775558E-17,12.2,0.0,0.2,9.0,11.8,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 3 pavto', XB=12.4,12.6,3.2,4.2,9.0,11.8,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 3 pavto', XB=12.2,12.4,3.2,3.2,9.0,11.8,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 3 pavto', XB=12.2,12.2,0.2,3.2,9.0,11.8,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 3 pavto', XB=0.0,0.2,4.2,10.2,9.0,11.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 3 pavto', XB=0.0,12.2,10.2,10.4,9.0,11.8,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 3 pavto', XB=12.2,12.6,6.6,6.8,9.0,11.8,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='parede ext 3 pavto', XB=12.4,12.6,4.2,6.6,9.0,11.8,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 3 pavto', XB=12.2,12.2,6.8,10.2,9.0,11.8,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Piso', XB=-2.775558E-17,12.0,0.0,4.2,-0.2,-2.775558E-17,
 SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Piso', XB=0.0,12.0,4.2,10.4,-0.2,0.0, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Paredes externas terreo', XB=-2.775558E-17,0.2,0.2,4.2,-2.775558E-
 17,2.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Paredes externas terreo', XB=-2.775558E-17,12.0,0.0,0.2,-2.775558E-
 17,2.8, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Paredes externas terreo', XB=11.2,11.4,3.2,4.2,-2.775558E-17,2.8,
 SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Paredes externas terreo', XB=11.8,12.0,0.2,3.2,-2.775558E-17,2.8,
 SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Paredes externas terreo', XB=11.4,11.8,3.2,3.2,-2.775558E-17,2.8,
 SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Paredes externas terreo', XB=0.0,0.2,4.2,10.2,0.0,2.8,
 SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Paredes externas terreo', XB=0.0,11.4,10.2,10.4,0.0,2.8,
 SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Paredes externas terreo', XB=11.2,11.4,4.2,10.2,0.0,2.8,
 SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Piso 1 pavto', XB=0.0,12.3,6.8,10.4,2.8,3.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 1 pavto', XB=0.0,12.6,4.2,6.8,2.8,3.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 1 pavto', XB=-2.775558E-17,12.2,0.0,3.2,2.8,3.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Piso 1 pavto', XB=-2.775558E-17,12.6,3.2,4.2,2.8,3.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=0.0,0.1,4.2,10.2,3.0,5.8, OUTLINE=.TRUE.,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=0.0,12.3,10.2,10.4,3.0,5.8, OUTLINE=.TRUE.,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=12.1,12.3,6.8,10.2,3.0,5.8, OUTLINE=.TRUE.,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=12.1,12.6,6.6,6.8,3.0,5.8, OUTLINE=.TRUE.,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=12.4,12.6,4.2,6.6,3.0,5.8, OUTLINE=.TRUE.,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=-2.775558E-17,0.2,0.2,4.2,3.0,5.8,
 OUTLINE=.TRUE., SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=-2.775558E-17,12.2,0.0,0.2,3.0,5.8,
 OUTLINE=.TRUE., SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='paredes ext 1 pavto', XB=12.4,12.6,3.2,4.2,3.0,5.8, OUTLINE=.TRUE.,
 SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='pareda ext 1 pavto', XB=12.2,12.4,3.2,3.2,3.0,5.8, OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='pareda ext 1 pavto', XB=12.2,12.2,0.2,3.2,3.0,5.8, OUTLINE=.TRUE.,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Piso terreo 2', XB=20.4,21.4,0.0,4.2,-0.2,-2.775558E-17,
SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Piso terreo 2', XB=20.4,21.4,4.2,10.4,-0.2,-2.775558E-17,
SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Fachada lat terreo 2', XB=21.0,21.4,10.2,10.4,-2.775558E-17,2.8,
SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Fachada terreo 2', XB=20.4,20.6,0.2,3.2,-2.775558E-17,2.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada terreo 2', XB=20.4,21.4,0.0,0.2,-2.775558E-17,2.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada terreo 2', XB=20.8,21.0,3.2,4.2,-2.775558E-17,2.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada terreo 2', XB=20.6,20.8,3.2,3.2,-2.775558E-17,2.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada terreo 2', XB=20.8,21.0,4.2,10.4,-2.775558E-17,2.8,
SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 1pavto 2', XB=19.6,19.8,3.2,4.2,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 1pavto 2', XB=20.0,20.2,0.2,3.2,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 1pavto 2', XB=20.0,20.4,0.0,0.2,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 1pavto 2', XB=19.8,20.0,3.2,3.2,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 1pavto 2', XB=19.6,19.8,4.2,6.6,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 1pavto 2', XB=19.6,20.2,6.6,6.8,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 1pavto 2', XB=20.0,20.2,6.8,10.4,3.0,5.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Laje terreo 2', XB=19.6,21.4,3.2,4.2,2.8,3.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Laje terreo 2', XB=20.0,21.4,0.0,3.2,2.8,3.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Laje terreo 2', XB=19.6,21.4,4.2,6.8,2.8,3.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Laje terreo 2', XB=20.0,21.4,6.8,10.4,2.8,3.0, SURF_ID='LAJE'/

&OBST ID='Fachada 2pavto 2', XB=19.6,19.8,3.2,4.2,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 2pavto 2', XB=20.0,20.2,0.2,3.2,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 2pavto 2', XB=20.0,20.4,0.0,0.2,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 2pavto 2', XB=19.8,20.0,3.2,3.2,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 2pavto 2', XB=19.6,19.8,4.2,6.6,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 2pavto 2', XB=19.6,20.2,6.6,6.8,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 2pavto 2', XB=20.0,20.2,6.8,10.4,6.0,8.8, SURF_ID='PAREDE'/

&OBST ID='Fachada 3pavto 2', XB=19.6,19.8,3.2,4.2,9.0,11.8, SURF_ID='PAREDE'/
 &OBST ID='Fachada 3pavto 2', XB=20.0,20.2,0.2,3.2,9.0,11.8, SURF_ID='PAREDE'/
 &OBST ID='Fachada 3pavto 2', XB=20.0,20.4,0.0,0.2,9.0,11.8, SURF_ID='PAREDE'/
 &OBST ID='Fachada 3pavto 2', XB=19.8,20.0,3.2,3.2,9.0,11.8, SURF_ID='PAREDE'/
 &OBST ID='Fachada 3pavto 2', XB=19.6,19.8,4.2,6.6,9.0,11.8, SURF_ID='PAREDE'/
 &OBST ID='Fachada 3pavto 2', XB=19.6,20.2,6.6,6.8,9.0,11.8, SURF_ID='PAREDE'/
 &OBST ID='Fachada 3pavto 2', XB=20.0,20.2,6.8,10.4,9.0,11.8,
 SURF_ID='PAREDE'/
 &OBST ID='Fach lat dir 1pavto 2', XB=20.2,21.4,10.2,10.4,3.0,5.8,
 SURF_ID='INERT'/
 &OBST ID='Laje 1pavto 2', XB=19.6,21.4,3.2,4.2,5.8,6.0, SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='Laje 1pavto 2', XB=20.0,21.4,0.0,3.2,5.8,6.0, SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='Laje 1pavto 2', XB=19.6,21.4,4.2,6.8,5.8,6.0, SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='Laje 1pavto 2', XB=20.0,21.4,6.8,10.4,5.8,6.0, SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='Fach lat dir 2pavto 2', XB=20.2,21.4,10.2,10.4,6.0,8.8,
 SURF_ID='INERT'/
 &OBST ID='Laje 2pavto 2', XB=19.6,21.4,3.2,4.2,8.8,9.0, SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='Laje 2pavto 2', XB=20.0,21.4,0.0,3.2,8.8,9.0, SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='Laje 2pavto 2', XB=19.6,21.4,4.2,6.8,8.8,9.0, SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='Laje 2pavto 2', XB=20.0,21.4,6.8,10.4,8.8,9.0, SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='Fach lat dir 3pavto 2', XB=20.2,21.4,10.2,10.4,9.0,11.8,
 SURF_ID='INERT'/
 &OBST ID='Laje 3pavto 2', XB=19.6,21.4,3.2,4.2,11.8,12.0, SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='Laje 3pavto 2', XB=20.0,21.4,0.0,3.2,11.8,12.0, SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='Laje 3pavto 2', XB=19.6,21.4,4.2,6.8,11.8,12.0, SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='Laje 3pavto 2', XB=20.0,21.4,6.8,10.4,11.8,12.0, SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='Madeira', XB=1.6,11.2,5.0,6.2,3.5,3.6, RGB=240,80,25,
 BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
 &OBST ID='Madeira', XB=1.6,11.2,6.8,8.0,3.5,3.6, RGB=240,80,25,
 BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
 &OBST ID='Madeira', XB=1.6,11.2,8.6,9.8,3.5,3.6, RGB=240,80,25,
 BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
 &OBST ID='Madeira', XB=1.6,11.2,8.6,9.8,4.5,4.6, RGB=240,80,25,
 BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
 &OBST ID='Madeira', XB=1.6,11.2,6.8,8.0,4.5,4.6, RGB=240,80,25,
 BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
 &OBST ID='Madeira', XB=1.6,11.2,5.0,6.2,4.5,4.6, RGB=240,80,25,
 BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Heater', XB=1.2,11.0,4.6,10.1,3.0,3.0, SURF_ID='INERT'/

&HOLE ID='Hole escada 2 pavto', XB=11.2,12.1,3.15,3.3,6.0,8.1/

&HOLE ID='Janela fundos 2 pavto', XB=0.0,0.15,5.5,7.0,7.15,8.25/

&HOLE ID='porta banheiro 2 pavto', XB=0.7,1.4,3.15,3.3,6.0,8.1/

&HOLE ID='Janela2 fachada 2 pavto', XB=12.12,12.32,6.8,10.2,6.3,8.5/

&HOLE ID='Janela1 fachada 2 pavto', XB=12.42,12.62,4.6,6.6,6.3,8.5/

&HOLE ID='Janela corredor fach 2 pavto', XB=12.4,12.6,3.3,4.35,6.3,8.5/

&HOLE ID='Janela escada 2 pavto', XB=12.1,12.3,0.9,2.2,7.1,8.1/

&HOLE ID='porta escritorio 2 pavto', XB=5.0,5.8,3.15,3.3,6.0,8.1/

&HOLE ID='Escritorio 2 pavto', XB=11.3,12.2,4.35,4.5,6.0,8.1/

&HOLE ID='Escritorio 2 pavto', XB=0.4,1.3,4.35,4.5,6.0,8.1/

&HOLE ID='janela banheiro 2 pavto', XB=0.501677,1.005818,0.0,0.15,7.55,8.35/

&HOLE ID='janela lateral 2 pavto', XB=3.083595,4.283595,0.0,0.15,7.15,8.25/

&HOLE ID='janela corredor 2 pavto', XB=6.106227E-16,0.15,3.4,4.1,7.15,8.25/

&HOLE ID='Janela fundos 2 pavto', XB=0.0,0.2,8.0,9.5,7.15,8.25/

&HOLE ID='Janela2 fachada 3 pavto', XB=12.12,12.32,6.8,10.2,9.2,11.4/

&HOLE ID='Janela1 fachada 3 pavto', XB=12.42,12.62,4.6,6.6,9.2,11.4/

&HOLE ID='Janela corredor fach 3 pavto', XB=12.4,12.6,3.3,4.35,9.2,11.4/

&HOLE ID='Janela escada 3 pavto', XB=12.1,12.3,0.9,2.2,10.1,11.1/

&HOLE ID='Hole escada 3 pavto', XB=11.2,12.1,3.15,3.3,9.0,11.1/

&HOLE ID='Janela fundos 3 pavto', XB=0.0,0.15,5.5,7.0,10.15,11.25/

&HOLE ID='porta banheiro 3 pavto', XB=0.7,1.4,3.15,3.3,9.0,11.1/

&HOLE ID='porta escritorio 3 pavto', XB=5.0,5.8,3.15,3.3,9.0,11.1/

&HOLE ID='Escritorio 3 pavto', XB=11.3,12.2,4.35,4.5,9.0,11.1/

&HOLE ID='Escritorio 3 pavto', XB=0.4,1.3,4.35,4.5,9.0,11.1/

&HOLE ID='janela banheiro 3 pavto', XB=0.501677,1.005818,0.0,0.15,10.55,11.35/

&HOLE ID='janela lateral 3 pavto', XB=3.083595,4.283595,0.0,0.15,10.15,11.25/

&HOLE ID='janela corredor 3 pavto', XB=6.106227E-16,0.15,3.4,4.1,10.15,11.25/

&HOLE ID='Janela fundos 3 pavto', XB=0.0,0.2,8.0,9.5,10.15,11.25/

&HOLE ID='Porta Loja 2', XB=11.22,11.42,6.6,10.0,0.0,2.2/

&HOLE ID='Porta Loja 1', XB=11.22,11.42,3.5,6.4,0.0,2.2/

&HOLE ID='Porta escada terreo', XB=11.82,12.02,0.4,1.3,0.0,2.1/

&HOLE ID='escritorio terreo', XB=5.1,5.9,3.15,3.3,0.0,2.1/

&HOLE ID='banheiro terreo', XB=0.65,1.35,3.15,3.3,0.0,2.1/

&HOLE ID='banheiro terreo', XB=0.501677,1.005818,0.0,0.2,1.5,2.3/
 &HOLE ID='janela lateral terreo', XB=3.1,4.3,0.0,0.15,1.1,2.2/
 &HOLE ID='Janela2 fachada 1 pavto', XB=12.12,12.32,6.8,10.2,3.2,5.4/
 &HOLE ID='Janela1 fachada 1 pavto', XB=12.42,12.62,4.6,6.6,3.2,5.4/
 &HOLE ID='Janela corredor fach 1 pavto', XB=12.4,12.6,3.3,4.35,3.2,5.4/
 &HOLE ID='Janela escada 1pavto', XB=12.1,12.3,0.9,2.2,4.1,5.1/
 &HOLE ID='Hole escada 1 pavto', XB=11.2,12.1,3.15,3.3,3.0,5.1/
 &HOLE ID='Janela fundos 1 pavto', XB=0.0,0.15,5.5,7.0,4.15,5.25/
 &HOLE ID='porta banheiro 1 pavto', XB=0.7,1.4,3.15,3.3,3.0,5.1/
 &HOLE ID='porta escritorio 1 pavto', XB=5.0,5.8,3.15,3.3,3.0,5.1/
 &HOLE ID='Escritorio 1 pavto', XB=11.3,12.2,4.35,4.5,3.0,5.1/
 &HOLE ID='Escritorio 1 pavto', XB=0.4,1.3,4.35,4.5,3.0,5.1/
 &HOLE ID='janela banheiro 1 pavto', XB=0.501677,1.005818,0.0,0.15,4.55,5.35/
 &HOLE ID='janela lateral 1 pavto', XB=3.083595,4.283595,0.0,0.15,4.15,5.25/
 &HOLE ID='janela corredor 1 pavto', XB=6.106227E-16,0.15,3.4,4.1,4.15,5.25/
 &HOLE ID='Janela fundos 1 pavto', XB=0.0,0.2,8.0,9.5,4.15,5.25/
 &HOLE ID='Porta escada terreo 2',
 XB=20.399817,20.549817,0.333148,1.238072,0.0,2.1/
 &HOLE ID='Porta loja 2', XB=20.872212,21.022212,4.484254,5.392609,0.0,2.1/
 &HOLE ID='Janela loja 2', XB=20.872212,21.022212,7.484254,9.218387,1.1,2.2/
 &HOLE ID='janela 1 esc 1pavto 2', XB=19.6,19.75,4.635463,6.604226,4.15,5.25/
 &HOLE ID='janela 2 esc 1pavto 2',
 XB=19.998144,20.148144,7.112463,10.112463,4.15,5.25/
 &HOLE ID='janela corredor 1pavto 2', XB=19.6,19.75,3.4,4.1,4.15,5.25/
 &HOLE ID='janela corredor 2pavto 2', XB=19.6,19.75,3.4,4.1,7.15,8.25/
 &HOLE ID='janela 1 esc 2pavto 2', XB=19.6,19.75,4.635463,6.604226,7.15,8.25/
 &HOLE ID='janela 2 esc 2pavto 2',
 XB=19.998144,20.148144,7.112463,10.112463,7.15,8.25/
 &HOLE ID='janela corredor 3pavto 2', XB=19.6,19.75,3.4,4.1,10.15,11.25/
 &HOLE ID='janela 1 esc 3pavto 2', XB=19.6,19.75,4.635463,6.604226,10.15,11.25/
 &HOLE ID='janela 2 esc 3pavto 2',
 XB=19.998144,20.148144,7.112463,10.112463,10.15,11.25/
 &HOLE ID='escada 2 pavto', XB=6.2,10.6,2.0,3.2,5.8,6.0/
 &HOLE ID='escada 3 pavto', XB=6.2,10.6,2.0,3.2,8.8,9.0/
 &HOLE ID='escada 1 pavto', XB=6.2,10.6,2.0,3.2,2.8,3.0/

&VENT ID='Vent', SURF_ID='HEATER',
XB=1.25,11.05,4.627898,10.127898,3.02,3.02, DEVC_ID='TIMER'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=5.2/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=6.6/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=12.6/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=19.6/

&TAIL /

ANEXO D - ARQUIVO FDS: ESTUDO DE CASO

Lojas comerciais vizinhas localizadas em polo comercial urbano

LOJA_SIMONETTI_26_04.fds

Generated by PyroSim - Version 2019.3.1204

25/05/2020 07:58:04

&HEAD CHID='LOJA_SIMONETTI_26_04'/

&TIME T_END=3720.0/

&DUMP COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_PL3D=240.0, DT_RESTART=200.0,
DT_SL3D=0.25, WRITE_XYZ=.TRUE./

&MISC RESTART=.TRUE./

&MESH ID='Mesh01', IJK=137,129,41, XB=-0.2,27.2,-3.0,22.8,-0.2,8.0/

&REAC ID='Wood Pine (pinho)',

FYI='Wood Pine SFPE (hand book)',

FUEL='REAC_FUEL',

C=3.4,

H=6.2,

O=2.5,

AUTO_IGNITION_TEMPERATURE=384.0,

CO_YIELD=0.05,

SOOT_YIELD=0.015,

HEAT_OF_COMBUSTION=1.79E4,

RADIATIVE_FRACTION=0.35/

&DEVC ID='Temp 01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=18.0,-0.1,1.375,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp 02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=18.0,-0.1,3.5,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp parede 01', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=17.95,0.0,1.4, IOR=-2/

&DEVC ID='Temp parede 02', QUANTITY='WALL TEMPERATURE',
XYZ=17.95,0.0,3.4, IOR=-2/

```

&DEVC ID='Temp 03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=13.4,-0.1,3.5/
&DEVC ID='Temp 04', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=6.0,-0.1,3.5/
&DEVC ID='Temp terreo_1,5', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=9.6,13.700389,1.5/
&DEVC ID='Temp terreo_3,0', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=9.6,13.700389,3.0/
&DEVC ID='Temp mesanino_4,4', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=9.6,13.700389,4.4/
&DEVC ID='Temp mesanino_6,2', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=9.6,13.700389,6.2/
&DEVC ID='Heat Flux GAS 01', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=18.0,-0.1,1.375, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='Heat Flux GAS 02', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS',
XYZ=18.0,-0.1,3.5, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='TIMER', QUANTITY='TIME', XYZ=0.0,0.0,1.375, SETPOINT=12.0,
INITIAL_STATE=TRUE/

```

```

&MATL ID='TIJOLO',
    SPECIFIC_HEAT=0.84,
    CONDUCTIVITY=0.69,
    DENSITY=1600.0/
&MATL ID='CONCRETE',
    SPECIFIC_HEAT=0.754,
    CONDUCTIVITY=1.35,
    DENSITY=2500.0,
    EMISSIVITY=0.94/
&MATL ID='Madeira_MATL',
    SPECIFIC_HEAT=1.36,
    CONDUCTIVITY=0.13,
    DENSITY=369.6,
    HEAT_OF_COMBUSTION=1.79E4/

```

```

&SURF ID='PAREDE',
    MATL_ID(1,1)='TIJOLO',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
    THICKNESS(1)=0.013/
&SURF ID='LAJE',

```

```

    RGB=217,255,247,
    MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
    THICKNESS(1)=0.013/
&SURF ID='MADEIRA',
    COLOR='ORANGE',
    HRRPUA=175.0,
    TAU_Q=-1.0,
    IGNITION_TEMPERATURE=384.0,
    BURN_AWAY=.TRUE.,
    TAU_T=-1.0,
    MATL_ID(1,1)='Madeira_MATL',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
    THICKNESS(1)=0.02,
    GEOMETRY='CARTESIAN',
    LENGTH=0.0,
    WIDTH=0.0/
&SURF ID='HEATER',
    RGB=230,0,0,
    NET_HEAT_FLUX=100.0/

&OBST ID='Frente simonetti', XB=0.0,17.4,0.0,0.2,0.2,6.4, SURF_ID='PAREDE'/
&OBST ID='Frente elmo', XB=17.6,26.44939,0.0,0.2,0.2,6.4, SURF_ID='PAREDE'/
&OBST ID='Pilar', XB=8.43939,8.63939,5.9,6.3,0.2,6.4, SURF_ID='INERT'/
&OBST ID='degrau 1', XB=6.43939,7.93939,5.9,6.21,0.2,0.36, SURF_ID='INERT'/
&OBST ID='degrau 2', XB=6.43939,7.93939,6.21,6.52,0.36,0.52, SURF_ID='LAJE'/
&OBST ID='degrau 3', XB=6.43939,7.93939,6.52,6.83,0.52,0.68, SURF_ID='LAJE'/
&OBST ID='degrau 4', XB=6.43939,7.93939,6.83,7.14,0.68,0.84, SURF_ID='LAJE'/
&OBST ID='degrau 5', XB=6.43939,7.93939,7.14,7.45,0.84,1.0, SURF_ID='LAJE'/
&OBST ID='degrau 6', XB=6.43939,7.93939,7.45,7.76,1.0,1.16, SURF_ID='LAJE'/
&OBST ID='degrau 7', XB=6.43939,7.93939,7.76,8.07,1.16,1.32, SURF_ID='LAJE'/
&OBST ID='degrau 8', XB=6.43939,7.93939,8.07,8.38,1.32,1.48, SURF_ID='LAJE'/
&OBST ID='degrau 9', XB=6.43939,7.93939,8.38,8.69,1.48,1.64, SURF_ID='LAJE'/
&OBST ID='degrau 10', XB=6.43939,7.93939,8.69,9.0,1.64,1.8, SURF_ID='LAJE'/
&OBST ID='degrau 11', XB=6.43939,7.93939,9.0,9.31,1.8,1.96, SURF_ID='LAJE'/

```

&OBST ID='degrau 12', XB=6.43939,7.93939,9.31,9.62,1.96,2.12, SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='degrau 13', XB=6.43939,7.93939,9.62,9.93,2.12,2.28, SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='degrau 14', XB=6.43939,7.93939,9.93,10.24,2.28,2.44,
 SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='degrau 15', XB=6.43939,7.93939,10.24,10.55,2.44,2.6,
 SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='degrau 16', XB=6.43939,7.93939,10.55,10.86,2.6,2.76,
 SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='degrau 17', XB=6.43939,7.93939,10.86,11.17,2.76,2.92,
 SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='degrau 18', XB=6.43939,7.93939,11.17,11.48,2.92,3.08,
 SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='degrau 19', XB=6.43939,7.93939,11.48,11.79,3.08,3.24,
 SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='degrau 20', XB=6.43939,7.93939,11.79,12.1,3.24,3.4, SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='Piso simonetti', XB=0.0,17.6,0.0,22.6,0.0,0.2, SURF_ID='INERT'/
 &OBST ID='Perimetro simonetti', XB=0.0,0.2,0.0,22.4,0.2,6.4, OUTLINE=.TRUE.,
 SURF_ID='PAREDE'/
 &OBST ID='Perimetro simonetti', XB=0.0,17.6,22.4,22.6,0.2,6.4,
 SURF_ID='PAREDE'/
 &OBST ID='Perimetro simonetti', XB=17.4,17.6,0.0,22.4,0.2,6.4,
 SURF_ID='PAREDE'/
 &OBST ID='Teto Simonetti', XB=0.0,17.6,0.0,22.6,6.4,6.6, OUTLINE=.TRUE.,
 SURF_ID='LAJE'/
 &OBST ID='Piso elmo', XB=17.6,26.6,0.0,22.6,0.0,0.2, SURF_ID='INERT'/
 &OBST ID='Perimetro elmo', XB=17.6,26.6,22.4,22.6,0.2,6.4, SURF_ID='PAREDE'/
 &OBST ID='Perimetro elmo', XB=26.4,26.6,0.0,22.4,0.2,6.4, SURF_ID='PAREDE'/
 &OBST ID='Teto elmo', XB=17.6,26.6,0.0,22.6,6.4,6.6, SURF_ID='INERT'/
 &OBST ID='Heater', XB=0.4,17.0,6.4,22.4,0.2,0.2, SURF_ID='INERT'/
 &OBST ID='Madeira', XB=0.6,1.6,5.0,13.2,0.4,0.6, RGB=240,80,25,
 BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
 &OBST ID='Madeira', XB=2.6,3.6,5.0,13.2,0.4,0.6, RGB=240,80,25,
 BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
 &OBST ID='Madeira', XB=4.6,5.6,5.0,13.2,0.4,0.6, RGB=240,80,25,
 BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
 &OBST ID='Madeira', XB=12.6,13.6,5.0,13.2,0.4,0.6, RGB=240,80,25,
 BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/
 &OBST ID='Madeira', XB=14.6,15.6,5.0,13.2,0.4,0.6, RGB=240,80,25,
 BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=10.6,11.6,5.0,13.2,0.4,0.6, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=8.6,9.6,5.0,13.2,0.4,0.6, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=3.2,4.2,14.0,22.0,3.8,4.0, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=1.2,2.2,14.0,22.0,3.8,4.0, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=7.2,8.2,14.0,22.0,3.8,4.0, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=11.2,12.2,14.0,22.0,3.8,4.0, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=13.2,14.2,14.0,22.0,3.8,4.0, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=15.2,16.2,14.0,22.0,3.8,4.0, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=1.2,2.2,14.0,22.0,5.0,5.2, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=3.2,4.2,14.0,22.0,5.0,5.2, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=11.2,12.2,14.0,22.0,5.0,5.2, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=13.2,14.2,14.0,22.0,5.0,5.2, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=15.2,16.2,14.0,22.0,5.0,5.2, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=0.6,1.6,5.0,13.2,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=2.6,3.6,5.0,13.2,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=4.6,5.6,5.0,13.2,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=8.6,9.6,5.0,13.2,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=10.6,11.6,5.0,13.2,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=12.6,13.6,5.0,13.2,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=14.6,15.6,5.0,13.2,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=0.6,1.6,13.6,21.8,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=2.6,3.6,13.6,21.8,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=4.6,5.6,13.6,21.8,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=8.6,9.6,13.6,21.8,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=10.6,11.6,13.6,21.8,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=12.6,13.6,13.6,21.8,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=14.6,15.6,13.6,21.8,1.6,1.8, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=0.6,1.6,13.6,21.8,0.4,0.6, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=2.6,3.6,13.6,21.8,0.4,0.6, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=4.6,5.6,13.6,21.8,0.4,0.6, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=8.6,9.6,13.6,21.8,0.4,0.6, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=10.6,11.6,13.6,21.8,0.4,0.6, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=12.6,13.6,13.6,21.8,0.4,0.6, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=14.6,15.6,13.6,21.8,0.4,0.6, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=1.2,2.2,5.6,13.6,3.8,4.0, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=3.2,4.2,5.6,13.6,3.8,4.0, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=3.2,4.2,5.6,13.6,5.0,5.2, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=1.2,2.2,5.6,13.6,5.0,5.2, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=11.2,12.2,5.6,13.6,3.8,4.0, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=13.2,14.2,5.6,13.6,3.8,4.0, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=15.2,16.2,5.6,13.6,3.8,4.0, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=15.2,16.2,5.6,13.6,5.0,5.2, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=13.2,14.2,5.6,13.6,5.0,5.2, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Madeira', XB=11.2,12.2,5.6,13.6,5.0,5.2, RGB=240,80,25,
BULK_DENSITY=369.6, SURF_ID='MADEIRA'/

&OBST ID='Mesanino', XB=0.0,17.4,5.8,22.4,3.2,3.4, SURF_ID='LAJE'/

&HOLE ID='Porta 1 simonetti', XB=2.63939,8.23939,0.0,0.2,0.2,3.55/

&HOLE ID='Porta 2 simonetti', XB=8.83939,17.4,0.0,0.2,0.2,3.55/

&HOLE ID='Porta elmo', XB=18.0,26.44939,0.0,0.2,0.2,3.55/

&HOLE ID='Escada', XB=6.4,8.0,5.8,12.0,3.2,3.4/

&VENT ID='Mesh Vent: Mesh01 [XMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=-0.2,-0.2,-3.0,22.8,-
0.2,8.0/

&VENT ID='Mesh Vent: Mesh01 [XMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=27.2,27.2,-
3.0,22.8,-0.2,8.0/

&VENT ID='Mesh Vent: Mesh01 [YMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=-0.2,27.2,-3.0,-3.0,-
0.2,8.0/

&VENT ID='Mesh Vent: Mesh01 [ZMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=-0.2,27.2,-
3.0,22.8,8.0,8.0/

&VENT ID='Vent', SURF_ID='HEATER', XB=0.4,17.0,6.4,22.4,0.22,0.22,
DEVC_ID='TIMER'/

&BNDF QUANTITY='BURNING RATE'/

&BNDF QUANTITY='CONVECTIVE HEAT FLUX'/

&BNDF QUANTITY='NET HEAT FLUX'/

&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'/

&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=9.6/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=0.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=3.4/

&TAIL /