

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO  
NÍVEL MESTRADO**

**FERNANDO LUÍS PASQUALOTTO**

**AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS DE SISTEMAS DE  
COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL EM FACHADAS TIPO CORTINA**

**São Leopoldo**

**2020**

FERNANDO LUÍS PASQUALOTTO

**AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS DE SISTEMAS DE  
COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL EM FACHADAS CORTINA**

Dissertação apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian

Coorientador: MSc. Augusto Masiero Gil

São Leopoldo

2020

P284a

Pasqualotto, Fernando Luís.

Avaliação da segurança contra incêndios de sistemas de compartimentação vertical em fachadas cortina / por Fernando Luís Pasqualotto. – São Leopoldo, 2020.

108 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, São Leopoldo, RS, 2020.

Orientação: Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian, Escola Politécnica; Coorientação: Prof. Ms. Augusto Masiero Gil, University of Michigan (USA).

1.Incêndios – Extinção. 2.Prevenção de incêndios – Normas. 3.Edifícios – Medidas de segurança. 4.Fachadas (Arquitetura). 5.Construção com vidro. I.Tutikian, Bernardo Fonseca. II.Gil, Augusto Masiero. III.Título.

CDU 699.81

614.841.3

72.011.6:691.6

Catálogo na publicação:  
Bibliotecária Carla Maria Goulart de Moraes – CRB 10/1252

FERNANDO LUÍS PASQUALOTTO

AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS DE SISTEMAS DE  
COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL EM FACHADAS CORTINA

Dissertação apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovada em 26 / 11 / 2020

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian – UNISINOS

---

Prof. Ms Augusto Masiero Gil – University of Michigan (USA)

---

Prof. Dr. Marco Aurélio Stumpf González – UNISINOS

---

Prof. Dr. Rogério Cattelan Antochaves de Lima – UFSM

## RESUMO

A ampla aplicação de fachadas envidraçadas em edifícios verticais traz uma preocupação quando se trata de segurança contra incêndios. Devido à facilidade com que esse sistema perde sua integridade, é gerado um canal facilitador para propagação do fogo, ocasionado a perda de compartimentação dos ambientes. Visando garantir a compartimentação de ambientes em edificações que possuem esse tipo de elemento construtivo, as instruções técnicas brasileiras definem medidas de proteção passiva, como selagem corta fogo, prolongamentos horizontais de lajes de 0,90 m e paredes verticais de 1,20 m utilizando materiais incombustíveis. Em diversos países é de conhecimento que a selagem corta fogo entre pavimentos é uma medida eficaz para evitar a propagação interna vertical do fogo, se tornando uma medida de proteção passiva necessária em fachadas cortina. Entretanto, ainda há discussões em relação a quais são as dimensões eficazes dos prolongamentos horizontais e verticais que visam barrar a propagação externa do fogo. O presente trabalho apresenta uma avaliação sobre o comportamento de diferentes modelos de compartimentação vertical, em fachadas cortina, de acordo com o ensaio ASTM E2307 (ASTM, 2020), por meio de simulação computacional utilizando o software Pyrosim/FDS®. Após calibração do modelo computacional, foram simulados oito modelos de compartimentação, sendo quatro utilizando projeções verticais atrás da fachada cortina e quatro utilizando prolongamentos horizontais da laje entre os pavimentos. Após análise dos resultados, constatou-se que compartimentações baseadas em prolongamentos horizontais apresentaram maior eficácia com menor dimensão quando comparadas com projeções verticais. Um prolongamento horizontal de 0,90 m tem a capacidade de isolar o pavimento superior do inferior. Um prolongamento horizontal de 0,60 m tem uma eficácia superior a uma projeção vertical de 1,20 m. Um prolongamento horizontal de 0,40 m tem uma eficácia próxima a uma projeção vertical de 1,20 m. Portanto, no Brasil, os modelos de compartimentação exigidos através das instruções técnicas não apresentam a mesma eficácia quando comparados entre si.

**Palavras-chave:** Fachada de vidro. Propagação vertical. Simulação computacional.

## ABSTRACT

The wide application of glass facades in vertical buildings is a concern when it comes to fire safety. This system loses its integrity easily and facilitates the spread of fire between vertical compartments. In order to guarantee the vertical isolation of adjacent compartments in this type of building, Brazilian standards provides passive protection provisions, such as fireproof sealing, horizontal extensions of 0.90 m and vertical extensions of 1.20 m, using non-combustible elements. In several countries, it is well known that sealing fire between floors is an effective measure to prevent the internal vertical spread of fire which become a necessary passive protection measure in curtain walls. However, there has been limited consensus regarding the dimensions, position, and shape of these horizontal and vertical extensions. This study presents an assessment of the fire behavior of different vertical compartment models with curtain walls according to the ASTM E2307 (ASTM, 2020) test using Pyrosim / FDS® software. After model calibration, eight compartment models were simulated, four using vertical projection and four using horizontal extension. Results showed that compartments with horizontal extensions were more effective with smaller dimensions when compared to vertical projections. A horizontal extension of 0.90 m has the ability to isolate the spread of fire between two adjacent rooms. A horizontal extension of 0.60 m is more effective than a vertical projection of 1.20 m. A horizontal extension of 0.40 m has an efficiency close to a vertical projection of 1.20 m. Therefore, current requirements by Brazilian standards do not present the same effectiveness when compared to each other.

**Keywords:** Glass façade. Vertical propagation. Computational simulation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Edifício Wilton Paes de Almeida - SP (2018) .....	16
Figura 2 – Incêndio de Edifícios .....	17
Figura 3 – Modelo de compartimentação vertical em fachadas cortina.....	25
Figura 4 – Modelo de compartimentação vertical (composição aba e verga-peitoril)	26
Figura 5 – Desenho esquemático da trajetória das chamas influenciadas pela existência de parede no andar superior do ambiente sinistrado de acordo com o EN 1991 -1-2 (2002) .....	28
Figura 6 – Trajetória da chama com a aplicação de uma barreira horizontal .....	28
Figura 7 – Trajetória da chama com barreira horizontal sem existência de parede superior .....	29
Figura 8 – Compartimentação vertical conforme norma espanhola .....	30
Figura 9 – Configurações de fachadas envidraçadas .....	33
Figura 10 – Principais elementos de uma fachada cortina .....	33
Figura 11 – Montagem de uma fachada tipo <i>Grid</i> .....	35
Figura 12 – Montagem sistema <i>Stick</i> .....	36
Figura 13 – Montagem de um sistema de fachada Unitizado.....	37
Figura 14 – Sistema <i>Spider Glass</i> .....	39
Figura 15 – Configurações mais comuns de vidros na construção civil .....	43
Figura 16– Propagação interna a fachada entre lajes .....	46
Figura 17 – Exemplo de barreira periférica interna à fachada de vidro .....	47
Figura 18 – Propagação pela parte externa da fachada .....	48
Figura 19 – Fases da chama.....	49
Figura 20 – Perspectiva do posicionamento dos queimadores .....	61
Figura 21 – Parede de calibração posicionada em frente ao equipamento de ensaio .....	62
Figura 22 – Vista interna sala de teste .....	63
Figura 23 – Vista interna da sala de observação .....	64
Figura 24 – Vista interna sala de testes / ventilações .....	67
Figura 25 – Vidros fachada padrão .....	70
Figura 26 – Termopares vidros .....	71
Figura 27 – Compartimentação com parede vertical.....	74
Figura 28 – Vidros fachada projeção horizontal .....	75

Figura 29 – Compartimentação com projeção horizontal de 0,90 m .....	75
Figura 30 – Gases quentes modelos referência, 1, 2 e 3 .....	82
Figura 31 – Altura máxima aproximada da chama .....	83
Figura 32 – Gases quentes modelo 5 .....	84
Figura 33 – Altura máxima aproximada da chama Modelo 4 .....	85
Figura 34 – Gases quentes Modelo 6 .....	86
Figura 35 – Altura máxima aproximada da chama Modelo 5 .....	87
Figura 36 – Gases quentes Modelo 7 .....	87
Figura 37 – Altura máxima aproximada da chama Modelo 7 .....	88

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Fases de um incêndio real.....	21
Gráfico 2 – Curva padrão NBR 5628.....	22
Gráfico 3 – Temperaturas médias dos Termopares TPISO 6 a 8 .....	78
Gráfico 4 – Média das temperaturas máximas dos TPISO 6 a 8.....	79
Gráfico 5 – Temperaturas Médias na Face Externa.....	89

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Medidas de compartimentação vertical estrangeiras.....	31
Quadro 2 – Tipos de fachadas, vantagens e desvantagens .....	34
Quadro 3 – Vidros para fachadas.....	40
Quadro 4 – Classificação para elementos aplicados em fachadas .....	52
Quadro 5 – Ensaio de fachada estrangeiros .....	55
Quadro 6 – Resultados de conformidade .....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Temperaturas de calibração .....	54
Tabela 2 – Taxa de variação de liberação de calor .....	65
Tabela 3 – Médias de temperaturas alcançadas na calibração final .....	68
Tabela 4 – Porcentagens alcançadas em relação aos valores referência .....	68
Tabela 5 – Porcentagens que excederam além do limite de calibração de +/- 10% .	69
Tabela 6 – Tempos de falha dos vidros .....	76
Tabela 7 – Temperaturas médias.....	78
Tabela 8 – Temperaturas máximas.....	79
Tabela 9 – Médias das temperaturas dos TPEs 4 a 14, em 30 min .....	82
Tabela 10 – Médias das temperaturas dos TPEs 4 a 14, em 30 min .....	84
Tabela 11 – Médias das temperaturas dos TPEs 4 a 14, em 30 min .....	86
Tabela 12 – Médias das temperaturas dos TPEs 4 a 14, em 30 min .....	88

## LISTA DE SIGLAS

AAMA	American Architectural Manufacturers Association
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
BBC	British Broadcasting Corporation
BS	British Standard
CBMESP	Corpo de Bombeiros Militar do Estado São Paulo
CBMRS	Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul
CFD	Computational Fluid Dynamics
EN	European Standard
FDS	Fire Dynamics Simulator
ISO	International Organization for Standardization
IT	Instrução Técnica
NBR	Norma Brasileira de Regulação
NIST	National Institute of Standard and Technology
NCR	Nuclear Regulatory Commission
RT	Resolução Técnica
SFC	Sensor de Fluxo de Calor
TPE	Termopar Externo
TPI	Termopar Interno
TPIST	Termopar Interno Sala de Teste
TPISO	Termopar Interno Sala de Observação
TRF	Tempo de Resistência ao Fogo
TRRF	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.2 OBJETIVOS .....	14
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>15</b>
1.3 JUSTIFICATIVA .....	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>20</b>
2.1 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS .....	20
<b>2.1.1 Incêndio Padrão</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1.2 Normas Brasileiras</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1.3 Normas Estrangeiras</b> .....	<b>26</b>
2.1.3.1 Estados Unidos da América .....	26
2.1.3.2 Eurocode .....	27
2.1.3.3 Espanha .....	29
2.1.3.4 Portugal .....	30
2.1.3.5 Outros Países .....	31
2.2 FACHADAS CORTINA .....	32
<b>2.2.1 Conceito e Sistema Construtivo</b> .....	<b>32</b>
<b>2.2.2 Características dos Vidros</b> .....	<b>39</b>
2.2.2.1 Vidro Padrão ( <i>Float</i> ) .....	40
2.2.2.2 Vidro Temperado .....	41
2.2.2.3 Vidro Laminado .....	41
2.2.2.4 Vidro Insulado .....	42
2.2.2.5 Vidros Especiais .....	43
2.3 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS EM FACHADAS CORTINA .....	44
<b>2.3.1 Medidas de Proteção Contra Propagação Interna</b> .....	<b>45</b>
<b>2.3.2 Medidas de Proteção Contra Propagação Externa</b> .....	<b>47</b>
<b>2.3.3 Estudos Experimentais</b> .....	<b>50</b>
<b>2.3.4 Fatores Relevantes no Desempenho das Compartimentações Verticais</b> .....	<b>56</b>
2.4 ESTUDOS COMPUTACIONAIS .....	56
<b>3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL</b> .....	<b>60</b>

3.1 CARACTERÍSTICAS DO MODELO COMPUTACIONAL .....	60
3.2 PROPRIEDADES DO MODELO COMPUTACIONAL .....	64
3.3 CALIBRAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL .....	65
3.4 VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL .....	69
<b>4 ESTUDO PARAMÉTRICO .....</b>	<b>73</b>
4.1 PARÂMETROS ANALISADOS .....	73
<b>4.1.1 Modelos de Compartimentação com Projeção Vertical .....</b>	<b>73</b>
<b>4.1.2 Modelos de Compartimentação com Projeção Horizontal .....</b>	<b>74</b>
4.2 ANÁLISE DE FALHA E CONFORMIDADE .....	76
4.3 ANÁLISE DE RESULTADOS .....	77
<b>4.3.1 Análise de Conformidade e Temperaturas na Sala de Observação.....</b>	<b>77</b>
<b>4.3.2 Análise de Comportamento dos Gases Quentes e Chamas.....</b>	<b>81</b>
4.3.2.1 Modelo Referência, 1, 2, 3 e 4 .....	81
4.3.2.2 Modelo 5.....	83
4.3.2.3 Modelo 6.....	85
4.3.2.4 Modelo 7.....	87
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>91</b>
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	92
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE A – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADO NA CONFIGURAÇÃO DO PYROSIM/FDS®.....</b>	<b>102</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos modernos arranha-céus, a incorporação de painéis de vidro como revestimento de fachadas é amplamente utilizada devido à sua permeabilidade visual, com grande apelo estético e contribuição para a iluminação natural. (WANG et al., 2017b). Os avanços tecnológicos trouxeram grandes mudanças nos sistemas construtivos, que se caracterizam pela utilização de fachadas envidraçadas, áreas sem compartimentação e emprego de materiais combustíveis às edificações, o que pode representar um risco para a segurança contra incêndios. (SEITO et al., 2008; GANDHI et al., 2017; ZHOU, 2014).

Segundo a *International Association of Fire and Rescue Services*<sup>1</sup> (CTIF) (2020), considerando informações de 65 países, no ano de 2018 foram registrados mais de 4 milhões de incêndios, que levaram à morte de aproximadamente 30 mil pessoas e 51 mil feridos. Considerando que dentre esses 22% dos casos foram registrados em edificações, a preocupação com a segurança na ocorrência de um sinistro se torna de grande relevância.

De acordo com Wang et al., (2017b), em um cenário de incêndio, as fachadas de vidro são consideradas frágeis quando comparadas a sistemas convencionais, como alvenaria ou concreto. Devido à facilidade com que perdem a sua integridade, criam um canal facilitador para que o fogo se propague, acelerando seu desenvolvimento e, como consequência, os ambientes perdem sua compartimentação.

Uma das formas de aumentar a segurança de uma edificação frente a uma situação de incêndio é a utilização de métodos de compartimentação, criando barreiras para que o fogo não se propague para outros compartimentos, pavimentos ou edificações próximas. (SÃO PAULO, 2019b).

No Brasil, as instruções técnicas de referência (ITs) que regem a temática da segurança contra incêndios, são as do Corpo de Bombeiros Militar do Estado São Paulo (CBMESP), atualmente utilizadas como referência pela quase totalidade dos demais Estados. No que se refere aos sistemas de fachada, destacam-se as ITs nº 07/2019 (SÃO PAULO, 2019c), referente à separação entre edificações, nº 08/2019 (SÃO PAULO, 2019d), que versa sobre a resistência ao fogo dos elementos de construção e nº 09/2019 (SÃO PAULO, 2019e), que aborda a compartimentação horizontal e compartimentação vertical do CBMESP. (SÃO PAULO, 2019a).

Com vistas a garantir a compartimentação em edificações no Brasil, existem dois modelos de compartimentação normatizados para utilização em fachadas cortina, conforme especificações apresentadas na IT 09/2019 (SÃO PAULO, 2019e). Apesar das ITs do Corpo de Bombeiros apresentarem definições e orientações sobre compartimentação vertical e horizontal, observa-se a carência de caracterizações científicas que permitam avaliar a real eficiência desses sistemas frente à dinâmica da propagação de um incêndio, além da definição de uma métrica concisa que permita determinar essa eficiência.

Estudos mais específicos relacionados à resistência ao fogo, no que tange ao comportamento de fachadas de pele de vidro em edificações verticalizadas, são necessários com vistas à melhoria deste tipo de sistema de fechamento em cenários de incêndio. (GANDHI et al., 2017; WANG et al., 2018; SRIVASTAVA et al., 2020).

Considerando os conceitos de isolamento de risco e compartimentação, esse trabalho se destina a avaliação, através de simulações computacionais, do desempenho das barreiras periféricas contra incêndios aplicadas em fachadas cortina em barrar a propagação vertical das chamas e das altas temperaturas, com vistas a avaliar a integridade da compartimentação vertical entre pavimentos. Para tanto, este estudo contemplou um tipo de fachada cortina desprovida de sistemas de compartimentação externa, dois modelos de compartimentação especificados em normas brasileira e quatro propostas de compartimentação diferentes, expostas a uma curva de temperatura padrão, em uma simulação computacional, utilizando o software Pyrosim/FDS®, baseada no ensaio real da *American Society for Testing and Materials* (ASTM), o E2307 (ASTM, 2020).

## 1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho dividem-se em geral e específicos.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o comportamento de diferentes modelos de compartimentação vertical, em fachadas cortina, por meio de simulação computacional.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste estudo:

- a) Realizar as avaliações considerando os prolongamentos de laje de 0,90 m e paredes verticais de 1,20 m, presentes nas ITs do Corpo de Bombeiros de São Paulo;
- b) Avaliar a eficácia de outras dimensões dos prolongamentos de laje e paredes verticais.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento e o aprimoramento dos materiais na construção civil visam melhorar a sua resistência, durabilidade e estabilidade. Dentro desses conceitos, a influência da elevada temperatura do fogo é uma ameaça potencial à estrutura de qualquer edificação exposta a essa condição. O comportamento dos materiais de construção expostos a situações de incêndio requer uma análise criteriosa e completa visando à determinação da segurança oferecida por esses elementos construtivos. (YEHIA; KASHWANI, 2013).

No Brasil, na década de 70, as discussões relativas à segurança sobre edifícios em situação de incêndio foram destaque após dois grandes sinistros ocorridos: no edifício Andraus, em 1972, na cidade de São Paulo, com 31 andares em concreto armado e fachada envidraçada; e o no edifício Joelma, em 1974, com 23 andares, em concreto armado e fachada em alvenaria tradicional. No caso do edifício Andraus, a fachada envidraçada facilitou a propagação vertical das chamas; já no caso Joelma, ocorreu propagação externa, mas a fachada em alvenaria convencional resistiu ao episódio. (SEITO *et al.*, 2008).

Silva (2012) ressalta que na mesma década, apesar de diversos casos internacionais de sinistros envolvendo incêndios em edificações, ocorreram mudanças que ocasionaram a implantação de normas com vistas a garantia da segurança dos usuários na ocorrência de um sinistro desta natureza. Como consequência, foram estabelecidas as normas de dimensionamento de estruturas e resistência ao fogo, relacionando o Tempo de Resistência Requerido ao Fogo (TRRF) com a altura total e o tipo de ocupação da edificação.

Um caso brasileiro mais recente, ocorrido no dia 01 de maio de 2018, envolvendo um prédio com o tipo de vedação tratado nesse trabalho (fachada cortina), é o Edifício Wilton Paes de Almeida, apresentado na Figura 1, com 24 pavimentos, localizado no Largo do Paissandu, São Paulo. Conforme observado na Figura 1, durante o incêndio, a fachada foi inteiramente consumida pelas chamas, não restando qualquer tipo de compartimentação vertical.

Figura 1 – Edifício Wilton Paes de Almeida - SP (2018)



Fonte: (a) Google Maps Edifício Wilton Paes de Almeida – SP, (b) Gauchazh (2018)

Outros incêndios de grandes proporções, envolvendo edifícios verticais e rápida propagação das chamas pelas fachadas externas, ocorreram nos últimos anos. Nestes casos, destaca-se a ocorrência do uso misto de vidro, materiais combustíveis sem proteção contra incêndio nas fachadas e barreiras perimetrais contra incêndio ineficazes, contribuindo para a rápida propagação do fogo (PENG, NI e HUANG, 2013).

Na Figura 2 observam-se diferentes eventos envolvendo a propagação vertical externa de incêndio através das fachadas de edifícios. No caso (a), ocorrido em Londres, o edifício *Grenfell Tower*, com 23 pavimentos e fachada em ACM (*Aluminum Composite Material*), teve o incêndio iniciado em uma cozinha localizada no quarto pavimento. Em, aproximadamente 30 minutos, as chamas alcançaram o último

pavimento. Conforme descrito por Luke Bisby apud BBC (2018), a composição inflamável do revestimento externo e o afastamento dele em relação à fachada da edificação criaram um efeito chaminé, contribuindo para o rápido desenvolvimento das chamas. Esse caso demonstra uma falha na compartimentação vertical na fachada do edifício, que pode ser associado a natureza do material utilizado bem como a posição da aplicação do mesmo.

No caso do Edifício Lacrosse Tower (b), o incêndio teve início a partir de um cigarro aceso em uma varanda do oitavo andar, onde o fogo se propagou verticalmente em 11 minutos até o 21º andar, atingindo 20 apartamentos. A intensidade e velocidade da propagação vertical do incêndio foi atribuída ao revestimento externo em ACM, pois seu núcleo não era resistente ao fogo. O ocorrido não teve maiores proporções devido ao sistema de *sprinklers*, que foi eficiente em controlar as chamas na área interna da edificação.

Figura 2 – Incêndio de Edifícios



(a)

(b)

(a) Grenfell Tower, Londres, 2017 (b) Lacrosse Tower, Melbourne, 2014

Fontes: (a) Daily Mail e (b) The Age

Seito et al. (2008) defendem que a produção e importação de materiais modernos de construção, utilizados nas edificações, devem ser avaliadas no que tange ao seu comportamento em situação de incêndio. Considerando que os riscos podem variar com a utilização de novos materiais, sem controle de sua reação e resistência ao fogo,

faz-se necessária a realização de ensaios com todos os materiais e sistemas construtivos disponíveis no mercado, o que nem sempre ocorre.

De acordo com Gandhi et al. (2017), nas construções modernas, é nítida a ampla aplicação de fachada de vidro. No entanto, esses sistemas de fechamento podem se tornar um caminho preferencial para a propagação do fogo em uma situação de incêndio. Neste contexto, para situações que apresentem fachadas totalmente envidraçadas, de acordo com as normas brasileiras, é exigida a presença de uma barreira perimetral e de um selo corta fogo entre pavimentos.

Com vistas à compartimentação vertical e, conseqüentemente, à segurança contra incêndio em fechamentos verticais, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR n° 15575-4 (ABNT, 2013), define como requisito das vedações verticais a capacidade de dificultar propagação de chama e fumaça a partir do ambiente de origem do incêndio, de forma que não impeça a fuga dos ocupantes. A IT n° 09/2019 (SÃO PAULO, 2019e) estabelece parâmetros de compartimentação vertical e horizontal visando impedir a propagação de incêndios entre ambientes do mesmo pavimento e entre pavimentos elevados consecutivos.

Ressalta-se que, atualmente, não existem normas técnicas brasileiras aplicáveis e adequadas para medição do TRF (Tempo de Resistência ao Fogo) dos sistemas de compartimentação de uma fachada envidraçada em situação de incêndio.

Frente ao exposto, este trabalho justifica-se a partir da necessidade de conhecer e avaliar o comportamento e a eficácia dos sistemas de compartimentação exigidos na legislação nacional frente a uma situação de incêndio, em fachadas envidraçadas utilizadas em edificações verticalizadas. Além de contribuir com a geração de conhecimento sobre esse sistema de vedação, o presente trabalho visa indicar novos aspectos a serem observados nesse tipo de sistema, atendendo uma demanda a nível nacional.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura desta pesquisa está dividida em 5 capítulos. No primeiro capítulo, que aborda a introdução sobre a temática do estudo, é apresentada uma visão geral sobre o tema, assim como justificativa, objetivos geral e específicos. No segundo capítulo, é apresentada uma revisão bibliográfica abordando os principais conceitos visando a adequada compreensão sobre a temática de estudo, subsidiando a definição do método proposto. O terceiro e quarto capítulos detalham o programa experimental,

através da descrição das características da simulação utilizada, além dos resultados das simulações e respectivas análises. O quinto capítulo apresenta a conclusão e as considerações finais do trabalho, com sugestões para continuação deste estudo através de trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta uma revisão sobre os conceitos de segurança contra incêndios, sistemas de fachadas cortina e a resistência ao fogo desse tipo de elemento de acordo com normas técnicas existentes sobre o assunto.

### 2.1 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

O fogo é um fenômeno físico-químico provindo de uma reação de oxidação com a liberação de calor e luz. Para que esse fenômeno ocorra, são necessários quatro elementos básicos: o combustível, o comburente (oxigênio), o calor e a reação em cadeia. (SÃO PAULO, 2019a). Por sua vez, o incêndio é definido como uma “combustão rápida disseminando-se de forma descontrolada no tempo e espaço”. (ISO,1987). Silva (2008) aponta que a combustão resulta em três diferentes produtos: calor, fumaça e chama. Além disso, vários fatores influenciam na ocorrência e desenvolvimento de um incêndio, dentre os quais se destacam:

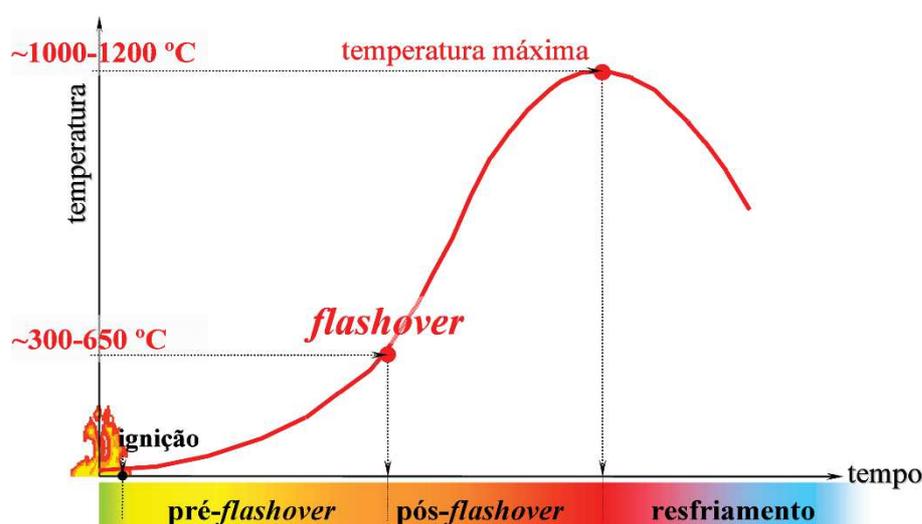
- a) forma e dimensões do compartimento;
- b) emissividade dos materiais envolvidos;
- c) carga de incêndio (quantidade de materiais combustíveis);
- d) ventilação e aberturas entre ambientes;
- e) projeto arquitetônico das edificações;
- f) medidas de prevenção existentes.

Devido a variabilidade entre esses fatores, muitos de origem natural, é possível dizer que não existem dois incêndios iguais. Assim, um incêndio real pode ser descrito em um gráfico tempo-temperatura (Gráfico 1) dividido em uma fase de aquecimento e outra de resfriamento cujas características serão definidas pelo momento de ignição, a combustão generalizada (*flashover*) e a temperatura máxima. Costa (2008) define as diferentes fases de um incêndio conforme a seguir:

- a) ignição: início da queima do combustível, com aumento gradual de temperatura;
- b) *pré-flashover*: estágio onde o aumento de temperatura é acelerado, mas o incêndio ainda é localizado;

- c) *flashover*: período de curta duração que corresponde ao instante de inflamação generalizada, em que todo o ambiente é atingido pelas chamas e ocorre a inflamação generalizada;
- d) *pós-flashover*: mudança súbita do aumento de temperatura até alcance do ponto de temperatura máxima. Nesse estágio, todos os materiais combustíveis presentes entram em combustão e a temperatura dos gases quentes pode superar os 1000 °C.
- e) período de resfriamento: momento em que a queima de todos os combustíveis disponíveis no ambiente já ocorreu, ocasionando a redução gradual da temperatura.

Gráfico 1 – Fases de um incêndio real



Fonte: Adaptado pelo autor de Costa (2008, p. 73).

### 2.1.1 Incêndio Padrão

Os cenários de incêndio podem variar dependendo da situação. Para viabilizar a padronização de ensaios e projetos de estruturas, o incêndio é descrito por meio de curvas nominais, e essas curvas podem ser representadas por equações ou tabelas, tendo sua aplicação generalizada. (COSTA, 2008, p.76).

As curvas padrão são elaboradas de acordo com os materiais envolvidos na combustão em um cenário de incêndio. As curvas mais conhecidas são a “H”, para incêndios de hidrocarbonetos, a de incêndio externo e a curva-padrão, para incêndio

de materiais celulósicos. (COSTA e SILVA, 2006). Em 1975, foi publicada pela *International Organization for Standardization*, a ISO 834 “*Fire Resistance Tests - Elements of Building Construction*” (ISO, 2014), que define a Equação 1 para determinar a temperatura em função do tempo de materiais celulósicos (Gráfico 2).

$$\theta_t - \theta_{t_0} = 345 \log (8t + 1) \quad (1)$$

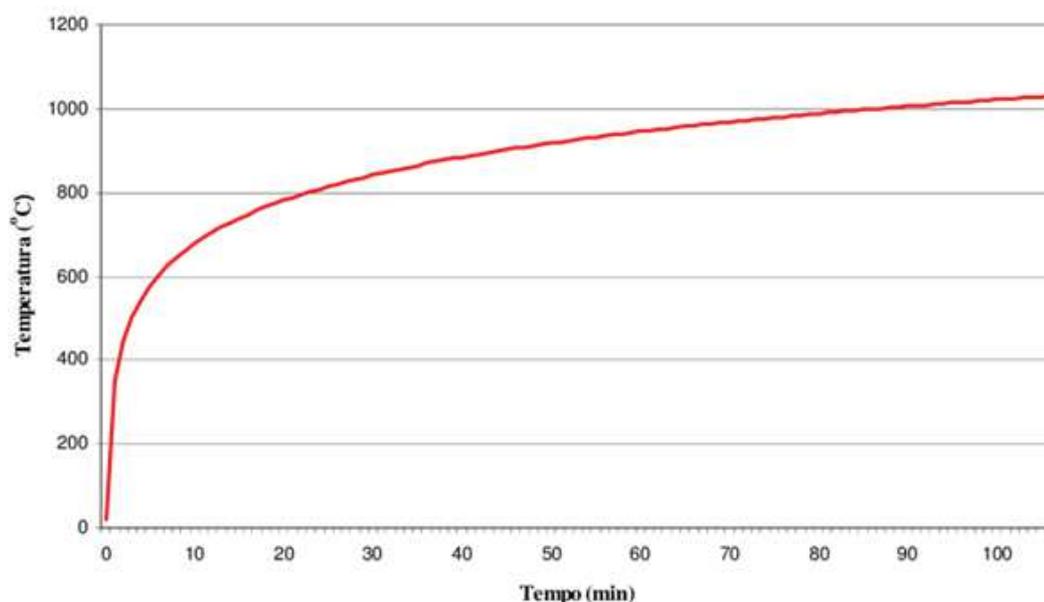
Sendo que:

$\theta_t$  é a temperatura dos gases atmosféricos no compartimento no instante  $t$ , em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\theta_{t_0}$  é a temperatura dos gases atmosféricos no compartimento no início do incêndio, em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ );

$t$  é a duração total do incêndio, em minutos.

Gráfico 2 – Curva padrão NBR 5628



Fonte: Adaptado pelo autor da NBR 5628 (2001, p. 2).

### 2.1.2 Normas Brasileiras

A legislação brasileira determina que as ITs que versam sobre a segurança contra incêndios são de responsabilidade do Corpo de Bombeiro Militar de cada Estado. Portanto, as mesmas têm sido estabelecidas e adequadas conforme

necessidade, tendo como base as instruções técnicas do Corpo de Bombeiros Militar de São Paulo, reconhecidas pelo seu refinamento e amplitude.

A IT 02/2019 (SÃO PAULO, 2019a) indica que uma das formas de aumentar a segurança contra incêndios em uma edificação é impedir a propagação do fogo para outros andares ou ambientes. Diante dessa necessidade, as compartimentações horizontais e verticais visam dividir a edificação em módulos que tenham a capacidade de suportar a queima dos materiais internos a esses locais, contendo o fogo em seu ambiente de origem, mantendo as rotas de fuga seguras e facilitando operações de resgate.

No que tange a compartimentação de ambientes, a IT nº 03/2019 (SÃO PAULO, 2019b) define compartimentação de áreas como uma medida de segurança, formada por elementos resistentes ao fogo, que visa minimizar a propagação do fogo internamente ou externamente à edificação para pavimentos superiores ou no mesmo pavimento. A Resolução Técnica (RT) nº 02 do Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul (CBMRS) (RIO GRANDE DO SUL, 2014) apresenta a mesma definição sobre compartimentação que a indicada na norma paulista citada, mas acrescenta que esses elementos devem conter, além do fogo, os gases e o calor. As normas do Corpo de Bombeiros dos Estados do Paraná e Mato Grosso acrescentam a esta definição a observância das áreas máximas permitidas para compartimentação enquanto a normativa do Estado de Santa Catarina indica que esses sistemas também devem impedir a propagação da fumaça.

Com relação à compartimentação, a IT nº 03/2019 (SÃO PAULO, 2019b) e a Norma de Procedimento Técnico (NPT) nº 003/2014 (PARANÁ, 2014), listam quais sistemas são utilizados para essa finalidade, sendo eles: vedadores corta-fogo nos entrespisos ou lajes corta-fogo; enclausuramento de dutos “*shafts*” através de paredes corta-fogo; enclausuramento das escadas por meio de paredes e portas corta-fogo; selagem corta-fogo dos dutos “*shafts*” na altura dos pisos e/ou entrespisos; paredes corta-fogo na envoltória do edifício; parapeitos ou abas corta-fogo, separando aberturas de pavimentos consecutivos; registros corta-fogo nas aberturas em cada pavimento dos dutos de ventilação e de ar condicionado.

No Estado do Rio Grande do Sul, a RT de transição - 2020 (RIO GRANDE DO SUL, 2020) estabelece requisitos mínimos exigidos nas edificações, áreas de risco de incêndio para a segurança contra incêndios até a publicação de resoluções técnicas específicas. No contexto da compartimentação, essa normativa determina as

estruturas que isolam as edificações entre si, conferindo-as o isolamento de risco, além de definir as estruturas que compartimentam as edificações. Na RT citada, elementos de compartimentação são obrigatórios e não isentam a aplicação de outros sistemas de segurança. O isolamento de risco se presta a isolar ambientes de uma mesma edificação ou de edificações contíguas, tratando seus sistemas de proteção e prevenção contra incêndios independentemente, podendo existir graus de risco diferentes para cada uma delas. No entanto, o isolamento de risco é opcional, devendo observar requisitos mínimos estabelecidos na IT nº 07/2019 do CBMESP (SÃO PAULO, 2019c).

A RT de transição – 2020 do CBMRS (RIO GRANDE DO SUL, 2020) também indica consulta a IT nº 09/2019 do CBMESP (SÃO PAULO, 2019e) como documento suplementar no caso da compartimentação. Já as ITs do CBMESP referem-se ao isolamento de risco apenas na IT nº 07/2019 (SÃO PAULO, 2019c) e compartimentação na IT nº 09/2019 (SÃO PAULO, 2019e).

No que se refere às fachadas, a RT de transição – 2020 do CBMRS (RIO GRANDE DO SUL, 2020) estabelece as distâncias mínimas para promover o isolamento de risco, diferenciando também o grau de risco. Para risco baixo ou médio, os materiais utilizados para isolar ambientes ou pavimentos de uma mesma edificação devem ter um TRF de 2 horas ao passo que, para grau de risco alto, esse TRF deve ser de 3 horas.

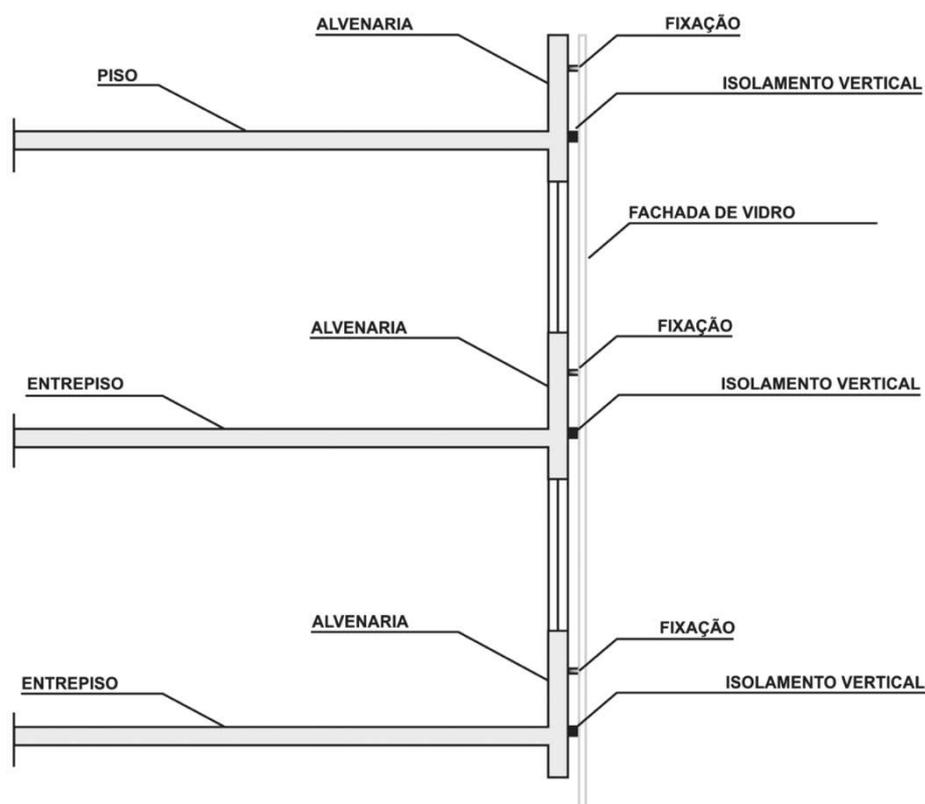
Tratando ainda sobre o isolamento de risco, a IT nº 07/2019 do CBMESP (SÃO PAULO, 2019c) não especifica casos de isolamento de risco para fachadas quando se trata de pavimentos da mesma edificação, apenas em edificações contíguas. Nesse quesito, a RT de transição – 2020 do CBMRS (RIO GRANDE DO SUL, 2020) pontua mais claramente as situações, mas não se refere em momento algum a fachadas envidraçadas, apenas ao TRRF dos elementos constituintes do sistema de isolamento de risco.

As ITs do estado do Rio Grande do Sul remetem à IT nº 09/2019 do CBMESP (SÃO PAULO, 2019e), que indica as medidas mínimas necessária para considerar a compartimentação horizontal e vertical dos ambientes de uma mesma edificação. De acordo com esta IT, qualquer abertura existente que se destine às instalações elétricas, sanitárias, telefônicas e outros, localizada entre paredes de compartimentação, deve receber um selamento com a propriedade corta-fogo que vede o vão, impedindo a comunicação direta entre os ambientes. De acordo com a

referida norma, esses elementos devem ter um TRF, conforme indicado na IT nº 08/2019 do CBMESP. (SÃO PAULO, 2019d).

Em se tratando especificamente de fachadas cortina, dentre as ITs pesquisadas, apenas a NPT nº 009/2014 (PARANÁ, 2014) e a IT nº 09/2019 (SÃO PAULO, 2019e) citam esse sistema e ressaltam que é necessária a aplicação de dois tipos de barreiras periféricas para garantir a compartimentação adequada em fachadas cortina: uma que consiste na aplicação de uma selagem corta fogo com função de isolamento vertical interno e outra de alvenaria, que impede a propagação externa do fogo após a quebra dos vidros. As soluções citadas são apresentadas na Figura 3.

Figura 3 – Modelo de compartimentação vertical em fachadas cortina

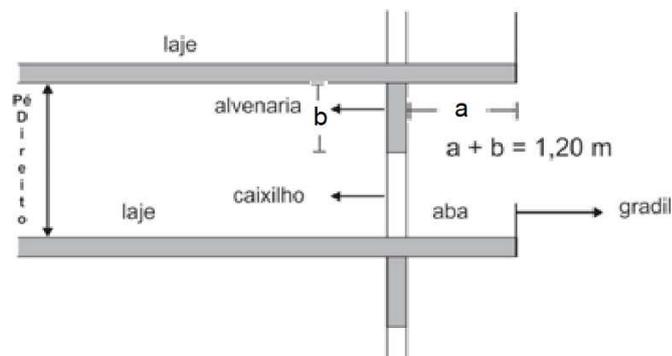


Fonte: IT nº 09/2019 do CBMESP (2019e)

A medida do peitoril de alvenaria no formato, apresentado na Figura 3, deve ser de 1,20 m, de modo que esse peitoril pode ser substituído por um prolongamento da laje de 0,90 m além da fechada. Caso haja uma combinação do prolongamento da laje do pavimento além da fachada e parapeito, apenas em edificações classificadas

como de risco baixo com carga de incêndio de 300MJ/m<sup>2</sup>, as dimensões devem seguir o exposto na Figura 4.

Figura 4 – Modelo de compartimentação vertical (composição aba e verga-peitoril)



Fonte: IT n° 09/2019 do CBMESP (2019e)

Nas normas pesquisadas, não se observou a especificação do método utilizado para determinar o grau de eficiência das compartimentações apresentadas, apenas os TRRF mínimos dos elementos constituintes.

A IT n° 08/2019 do CBMESP (SÃO PAULO, 2019d) indica que o TRRF dos elementos de compartimentação deve ser medido e assegurado através de ensaios específicos realizados em laboratórios, a partir da utilização de métodos devidamente normatizados. Na ausência de normas nacionais, serão aceitos resultados de ensaios internacionalmente reconhecidos.

### 2.1.3 Normas Estrangeiras

Como as medidas de proteção contra incêndio são, em sua maioria, derivadas de aprendizados obtidos com incidentes reais, cabe analisar as práticas que são adotadas em outros países, principalmente naqueles considerados desenvolvidos e que possuem um histórico de sucesso na normalização de construções com esse propósito. A seguir, são apresentados alguns desses casos.

#### 2.1.3.1 Estados Unidos da América

Desde 1986, a *National Fire Protection Association* (NFPA) tem se dedicado a estabelecer códigos nacionais contra incêndios. Em 2019, a entidade publicou o NFPA 80 (*Standard for Fire Doors and Other Opening Protectives*) (NFPA, 2019), que trata

de compartimentações por meio de portas corta fogo, cortinas de proteção e sistemas denominados de janelas corta-fogo. Esta normativa indica a necessidade de atendimento da NFPA 80 A (*Protection of Buildings from Exterior Fire Exposures*) (NFPA, 2017), que dispõe sobre a gravidade das exposições externas ao fogo em edifícios e recomenda quais medidas devem ser adotadas com vistas à garantia da proteção dos mesmos. Todavia, esta relaciona apenas as dimensões das edificações com os TRRFs dos materiais constituintes e não atribui distanciamentos mínimos entre aberturas para proporcionar a compartimentação.

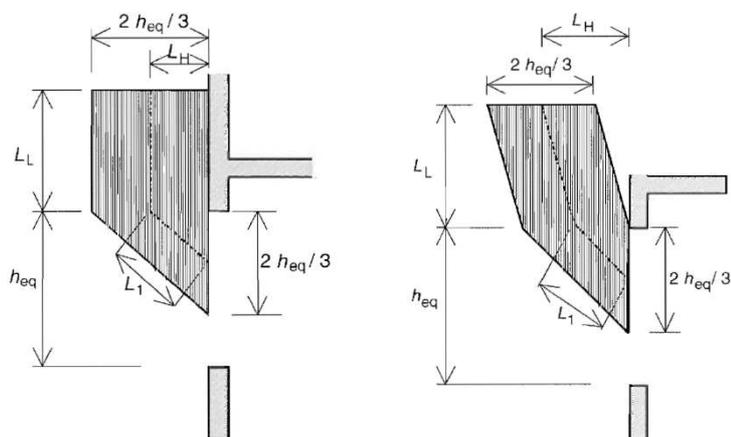
Em relação ao distanciamento entre aberturas, para edifícios com mais de 3 pavimentos, a NFPA 5000 (2018) exige que haja uma barreira vertical com resistência ao fogo de 1 hora entre de pavimentos, de pelo menos 0,95 m de altura. Essa barreira pode ser substituída por uma projeção horizontal de 0,76 m ou então por um sistema de chuveiros automáticos (*sprinklers*). No entanto, a referida norma cita que a barreira vertical de 0,95 m não se mostrou eficaz para barrar a propagação vertical de incêndios em casos reais, o que ressalta a necessidade de estudos relacionados ao tema a partir de simulações, ensaios laboratoriais e modelos em escala real.

No Brasil, observa-se a mesma exigência de selos corta fogo, em shafts, aberturas e transições de pavimentos, além das distâncias mínimas entre aberturas e barreiras perimetrais contra incêndios, conforme apresentado no item 2.3. Entretanto, as dimensões da barreira vertical e horizontal na normativa brasileira são maiores, com 1,20 m e 0,90 m, respectivamente.

### 2.1.3.2 Eurocode

Em se tratando de compartimentação vertical, o Eurocode 1 (EN 1991-1-2, 2002) não determina uma forma exata de compartimentação de edificações, mas apresenta um cálculo para determinar as principais características do fogo e das chamas quando ocorre a propagação vertical dessas por uma abertura na fachada de uma edificação. Nesta norma, a dimensão e a trajetória da chama é influenciada pela existência, ou não, de uma parede no andar superior, considerando a relação da altura e da largura da abertura. Na Figura 5, observa-se a influência da existência da parede superior na trajetória das chamas.

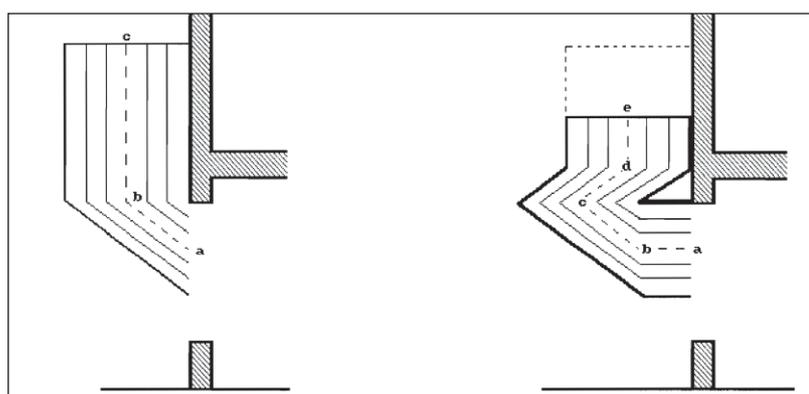
Figura 5 – Desenho esquemático da trajetória das chamas influenciadas pela existência de parede no andar superior do ambiente sinistrado de acordo com o EN 1991 -1-2 (2002)



Fonte: Adaptado de EN 1991 -1-2 (2002)

No caso da existência de uma projeção horizontal aplicada na parte superior e que perfaça toda a dimensão da abertura, a norma europeia prevê que o comprimento da chama que alcançará a parede superior será menor do que quando não há essa barreira, conforme apresentado na Figura 6.

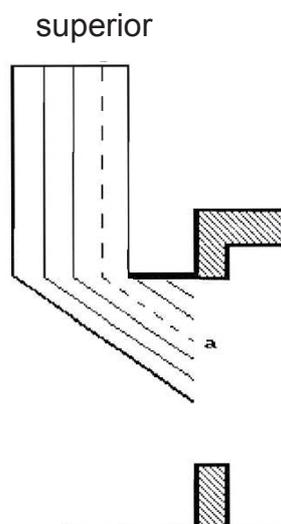
Figura 6 – Trajetória da chama com a aplicação de uma barreira horizontal



Fonte: Adaptado de EN 1991 -1-2 (2002)

Outro ponto que a norma destaca é que se não houver parede acima da abertura e houver uma barreira horizontal acima dessa abertura, as chamas se propagarão na vertical, se deslocando na mesma distância da largura da barreira horizontal, não alterando a altura total da chama, mas afastando-a da fachada da edificação, conforme Figura 7.

Figura 7 – Trajetória da chama com barreira horizontal sem existência de parede superior



Fonte: Adaptado de EN 1991 -1-2 (2002)

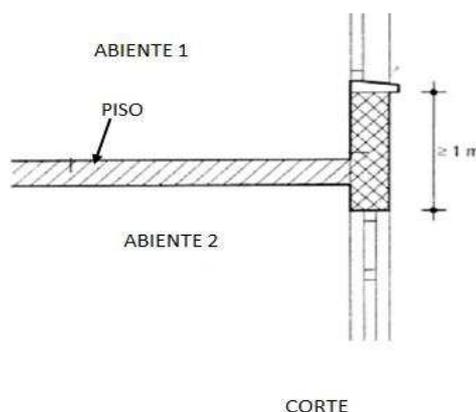
As normas brasileiras preveem a possibilidade de promover a compartimentação vertical através de um prolongamento horizontal de 0,90 cm entre pavimentos. No entanto, não há indicação da efetividade ou comportamento do fogo frente a essa medida de proteção, conforme demonstrado no EN 1991 -1-2 (2002).

### 2.1.3.3 Espanha

A Norma Básica da Edificação, denominada NBE-CPI/96 (ESPANHA, 1996), que se tornou válida após o Decreto Real nº 2.177 de 04 de outubro de 1996 (ESPANHA, 1996), estabelece áreas máximas a serem compartimentadas, bem como exige a compartimentação horizontal e vertical e descreve formas para obter essa compartimentação.

A referida norma prevê que se as paredes ou lajes destinadas à compartimentação encontrarem uma fachada, esses elementos devem ter sua extensão perpendicular de no mínimo 1 m, com pelo menos metade do TRRF da parede ou laje, conforme indicado na Figura 8.

Figura 8 – Compartimentação vertical conforme norma espanhola



Fonte: Adaptado de NBE-CPI/96 (ESPANHA, 1996).

#### 2.1.3.4 Portugal

O Ministério da Administração Interna de Portugal, através da Portaria nº 1532 (PORTUGAL, 2008), instituiu regras para garantir a segurança contra incêndios em edificações. De acordo com esta Portaria, quando necessária a compartimentação entre pavimentos consecutivos é exigido que, em fachadas, a distância mínima entre aberturas, não existindo projeções horizontais, seja de 1,10 m. Se houver essa projeção horizontal, ela deve ter no mínimo 1 m além de cada lado dos vãos, o somatório entre essa aba em balanço e a distância entre as aberturas não pode ser inferior a 1,10 m e esse elemento deve ter uma resistência ao fogo de 60 min.

Essa Portaria apresenta especificidades quando se trata de fachadas cortina, e indica que devem ser utilizados selos corta fogo no encontro da laje com a fachada. A mesma Portaria determina a exigência de um parapeito de 1,10 m, que pode ser atendida por elementos internos a fachada com afastamento mínimo de 0,20 m, todavia, não determina a altura desses elementos internos. Em caso de fachadas cortina ou ventiladas, se houver a aplicação de sistema de cortina de água (*sprinklers*), o tempo de resistência ao fogo dos elementos de compartimentação pode ser reduzido para 30 min.

No caso do Brasil, quando há aplicação e fachada cortina, deverá haver uma barreira interna de alvenaria com 1,20 m de altura, medida que se aproxima das indicadas nas normas de Portugal e Espanha, mas não é determinada diferenciação específica quando ocorre a utilização de *sprinklers*.

### 2.1.3.5 Outros Países

Nilsson et al. (2018) realizaram um levantamento dos regramentos de compartimentação vertical entre aberturas em fachadas nos códigos de construção em diferentes países. Considerando o regramento dos países apresentados, observa-se que projeções horizontais e verticais são medidas necessárias para evitar a propagação vertical das chamas entre aberturas. Entretanto, não há um consenso sobre as dimensões necessárias para promover a efetiva compartimentação, além de ocorrer uma discordância sobre qual deve ser o TRRF seguro em cada situação. O resultado desse levantamento é apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Medidas de compartimentação vertical estrangeiras

Local	Vertical (m)	Horizontal (m)	Nota
Austrália	0,9	1,1	material com resistência ao fogo de 60 min
Dinamarca	1,2	-	material com resistência ao fogo de 30 min
Finlândia	1,0	-	-
França	0,6-1,3	0,6-1,3	essas medidas podem variar conforme a combinação de projeção vertical e horizontal
Hong Kong	0,9	0,5	material com resistência ao fogo igual aos elementos do pavimento inferior
Nova Zelândia	1,5	0,6	essas medidas podem variar conforme a combinação de projeção vertical e horizontal
Noruega	1,2	1,2	se houver sistema de <i>sprinklers</i> as projeções podem ser desconsideradas
Portugal	1,1	1,1	material com resistência ao fogo de 60 min
Suécia	1,2	-	aberturas verticais a 1,2 m precisam ser classificadas contra incêndio, 1 janela com resistência ao fogo de 30 min ou ambas as janelas resistência ao fogo de 15 min
EUA	0,95	0,76	resistência ao fogo deve ser de 60 min, se houver sistema de <i>sprinklers</i> as projeções podem ser desconsideradas
Espanha	1,0	-	metade do TRRF da parede ou laje

Fonte: Adaptado de Nilsson et al (2018)

## 2.2 FACHADAS CORTINA

A fachada cortina é um tipo de sistema construtivo cada vez mais utilizado nas construções atuais e cujo conhecimento sobre o comportamento em elevadas temperaturas ainda é incipiente. Portanto, esse item aborda os principais conceitos no assunto.

### 2.2.1 Conceito e Sistema Construtivo

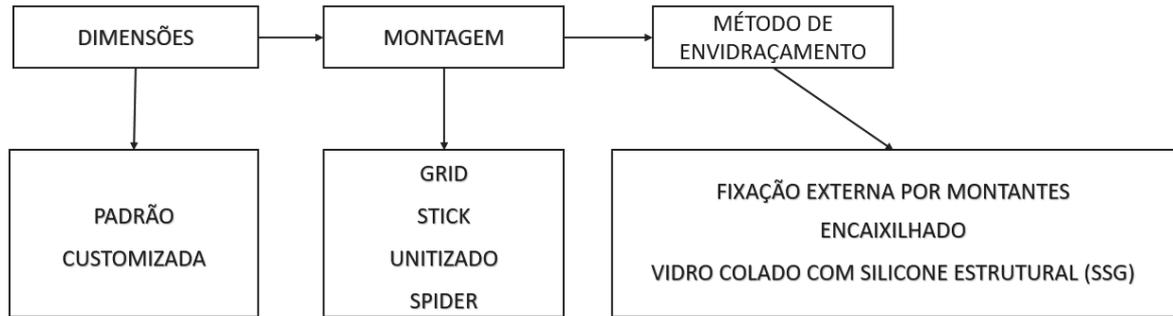
O principal objetivo de uma fachada é separar o ambiente interno da edificação dos agentes externos. Essa compreende uma parte importante de um edifício, servindo de vedação vertical externa. (OLIVEIRA, 2009). Existem vários sistemas construtivos que podem ser utilizados para vedação vertical de uma edificação. Dentro da classe denominada fachada cortina, encontram-se as fachadas envidraçadas.

De acordo com a NBR 10821-1 (ABNT, 2017), um sistema de esquadrias interligadas e estruturadas que desempenham a função de vedação, formando um sistema contínuo no sentido da altura ou da largura da fachada da edificação, por pelo menos dois pavimentos sem interrupção, é caracterizado como um sistema de fachada cortina. A *American Architectural Manufacturers Association* (AAMA, 2004 *apud* Makepeace et al. 2004) define as fachadas cortina como sistemas que podem consistir inteiramente de metal ou de uma combinação de metal, vidros e outros materiais. Esses sistemas podem ser classificados de acordo com os seus materiais constituintes e forma de montagem. Logo, uma fachada envidraçada pode ser composta de vários materiais diferentes e ter configurações de montagem distintas.

Quando se trata de resistência ao fogo, a esquadria e a forma de fixação tem influência na resistência ao fogo do vidro aplicado. Vidros encaixilhados nos quatro lados tendem a se romper em temperaturas menores e vidros encaixilhados nas duas laterais, horizontalmente, tendem a ter uma temperatura de quebra superior. (Wang et al., 2015).

A NBR 14925 (2019) indica que existe uma dependência entre: o tipo de construção adjacente a área envidraçada, o método de envidraçamento, o método de fixação, o tipo de caixilho, o tamanho do painel e o tipo de vidro com a resistência desses sistemas quando exposto ao fogo. Na Figura 9 são apresentadas as principais configurações desses sistemas.

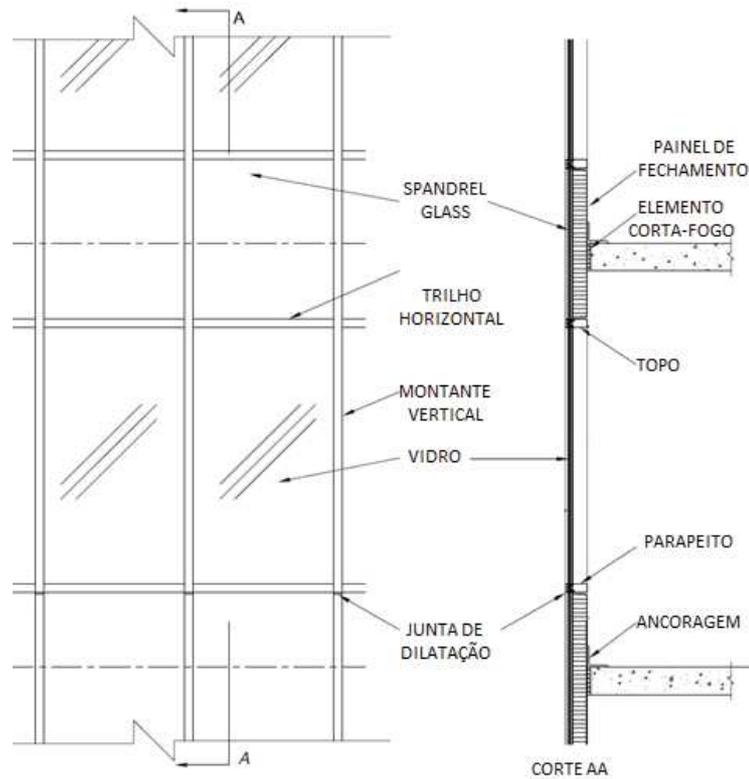
Figura 9 – Configurações de fachadas envidraçadas



Fonte: o autor

Na Figura 10 são apresentados os principais componentes dos sistemas de fachada cortina e suas terminologias.

Figura 10 – Principais elementos de uma fachada cortina



Fonte: Adaptado de Makepeace et al. (2004)

O Quadro 2 apresenta, de forma sistematizada, as principais utilizações, vantagens e desvantagens dos sistemas de fachada serão apresentados a seguir.

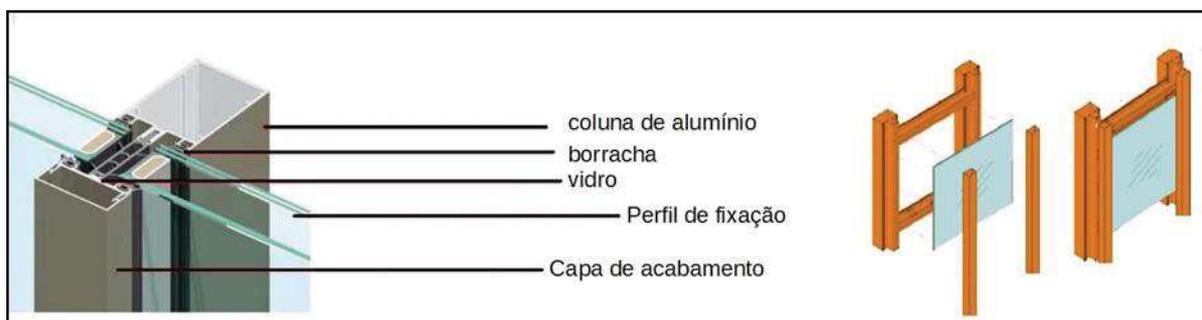
Quadro 2 – Tipos de fachadas, vantagens e desvantagens

<b>Tipo de Fachada</b>	<b>Utilização</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<i>Grid</i>	Indicado para fachadas de menor porte e edificações térreas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simplicidade na execução, colocação em etapas com auxílio de andaimes e facilidade de transporte dos elementos</li> </ul>	Montagem em pequenos módulos, vidro a vidro, os montantes ficam aparentes nos dois eixos
<i>Stick</i>	Obras de pequeno e médio porte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocação da malha estrutural e posteriormente dos vidros encaixilhados ou colados, facilidade de transporte dos elementos</li> </ul>	Montagem em módulos médios, vidro a vidro, na obra
Unitizado	Obras de grande porte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidade na montagem devido a colocação de grandes módulos prontos</li> <li>• Alto controle de qualidade na fabricação dos módulos</li> <li>• Fixação dos vidros por <i>Structural glazing</i></li> </ul>	Dificuldade no transporte dos módulos; a colocação dos mesmos necessita de auxílio de guindaste
<i>Spider Glass</i>	Todos os tipos de obras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidade de adaptação a qualquer edificação, apelo arquitetônico e alto valor agregado</li> </ul>	Custo, necessidade de mão de obra especializada para montagem

Fonte: o autor

Nos anos 70, no Brasil, houve a popularização das fachadas tipo *Grid*. Essa forma de fixação consiste na aplicação de uma estrutura metálica portante. A colocação do vidro fixado por meio de parafusos é com acabamento de um montante externo. A desvantagem desse método é que os perfis metálicos ficam aparentes, tanto internamente como externamente, conforme apresentado na Figura 11. (BATISTA, 2017).

De acordo com a Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos (ABRAVIDRO, 2018), esse sistema é indicado para edificações térreas e empreendimentos pequenos. Batista (2017) comenta que esse sistema é indicado para fachadas fixas e que ainda é possível integrá-lo com portas e janelas.

Figura 11 – Montagem de uma fachada tipo *Grid*

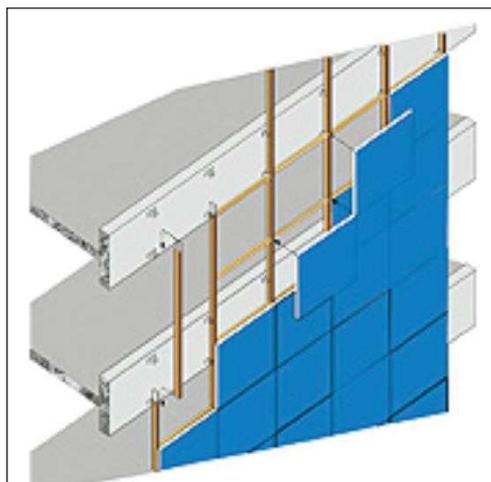
Fonte: adaptado de Batista (2017)

Ressalta-se que o sistema *Grid* foi utilizado no Edifício Wilton Paes de Almeida, apresentado no item 1.3, sendo que o mesmo se mostrou um elemento frágil frente a situação de incêndio, pois foi inteiramente consumido em menos de 1 hora.

Com o intuito de reduzir a visibilidade da estrutura metálica, desenvolveu-se o método de montagem tipo *Stick*. Esse consiste na fixação de uma malha estrutural de perfis de alumínio formada por montantes verticais e horizontais para posterior aplicação de quadros de alumínio que suportam os vidros, sendo um quadro para cada vidro, o que possibilita a utilização de um método de fixação do vidro do tipo encaixilhado ou colado. (BATISTA, 2017).

Neste sistema, a montagem é feita externamente, quadro a quadro, com auxílio de andaime, o que facilita o transporte, mas gera um maior número de processos de fixação no momento da execução (MAKEPEACE et al. 2004). A vantagem desse método é que os perfis metálicos ficam expostos apenas na parte interna, o que diminui a percepção das linhas horizontais e verticais da face externa da fachada. Na Figura 12, é apresentada a dinâmica de montagem dos quadros unitários.

A ABRAVIDRO (2018) e a Makepece et al. (2004) citam que a utilização desse sistema é indicada para obras de pequeno a médio porte, mas não excluem a utilização em grandes projetos. Os mesmos autores citam que uma das vantagens da utilização desse sistema é a fácil substituição de elementos em virtude do processo de montagem segmentado.

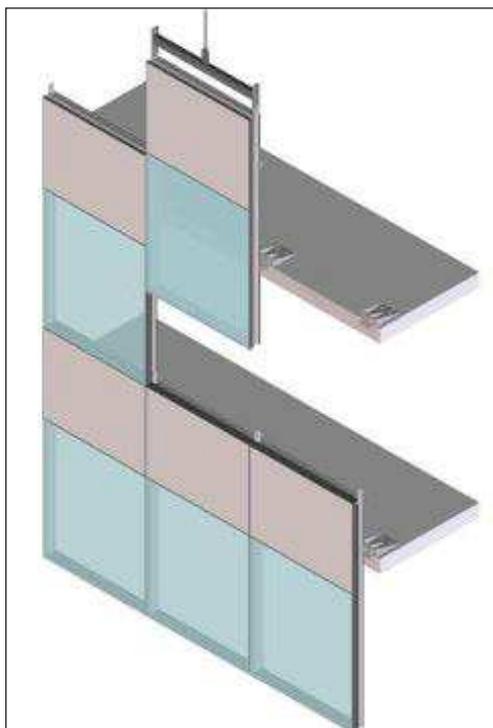
Figura 12 – Montagem sistema *Stick*

Fonte: Rosso (2007, p. 2)

Com a finalidade de acelerar o processo de montagem em obra e consequentemente proporcionar o fechamento das fachadas em menor tempo, foi concebido o sistema de fachada conhecido como “Unitizado”, que também permite a aplicação do vidro tanto encaixilhado como colado. Nesse sistema são aplicados, previamente, suportes na edificação. Diferentemente do processo de fixação utilizado no sistema *Stick*, nesse sistema, os módulos são maiores e todos os vidros e estrutura portante são montados em fábrica, aumentando o controle tecnológico do processo. Outro ponto positivo é que o processo de fixação dos painéis ocorre pelo lado interno da edificação, dispensando auxílio de andaime. Em contrapartida, os painéis são maiores, o que influencia no transporte. (MAKEPEACE et al. 2004).

A tendência de utilização desses sistemas é em obras de grande porte, visto a rapidez com que se pode realizar o fechamento de um vão e pelo fato dos trabalhadores executarem a montagem pelo lado interno, não necessitando andaimes. (ABRAVIDRO, 2018). De acordo com Makepeace et al. (2004), esse sistema tem um tempo de produção maior em fábrica e tempo de montagem menor em obra, sendo um aspecto a ser considerado na hora da escolha. A Figura 13 mostra o esquema de montagem dos painéis abrangendo todo pé direito do pavimento.

Figura 13 – Montagem de um sistema de fachada Unitizado



Fonte: *Unitized* (2019)

Um fator que altera a configuração da fachada cortina é a forma de aplicação do vidro na estrutura. Uma das tradicionais formas de aplicação do vidro é com parafusos e montantes externos, o que resulta na visibilidade das linhas verticais e horizontais da estrutura pelo lado externo. Para diminuir a visibilidade das linhas externas, foram sendo modificadas as formas de fixação dos vidros na estrutura portante. De acordo com a evolução dos sistemas de fachada cortina, com o intuito de esconder a estrutura metálica que dá sustentação aos vidros, a forma de aplicação dos vidros foi sendo modificada. (FINESTRA, 2005).

Na década de 80 houve a migração para o sistema *structural glazing*, um tipo de fachada cortina onde o vidro é colado nos perfis de alumínio resultando no ocultamento da estrutura e utilização do selante como componente estrutural da fachada, permitindo elasticidade, dilatação e contração do vidro. (FINESTRA, 2005). Conforme definido pela NBR 7199 (ABNT, 2016, p. 2), esse sistema é “composto por vidros colados em seu perímetro em estrutura portante usando adesivos ou fitas estruturais”.

Memari (2013) classifica os sistemas convencionais como aplicação de vidro a seco, pois são utilizados perfis de alumínio, parafusos, vidros e borrachas, sendo que estas têm a função de prender o vidro por pressão e garantir estanqueidade para a

esquadria. Os sistemas *structural glazing* são classificados como aplicação úmida de vidro, pois o mesmo é colado na esquadria metálica, o que garante fixação e estanqueidade ao mesmo tempo.

Makepeace et al. (2004) definem duas formas principais para a aplicação dos sistemas *structural glazing*. No Silicone Estrutural de Duas Faces (2SSG), o vidro é colado em duas faces da esquadria e preso nas outras duas por pressão, o que permite que esse sistema seja executado em obra. Outra forma de aplicação é o Silicone Estrutural de Quatro Faces (4SSG), que consiste na fixação dos quatro lados do vidro na esquadria por meio de silicone estrutural. Esse método deve ser executado em fábrica com a finalidade de obter um maior controle de qualidade na execução.

Em relação a segurança contra incêndios, Gandhi et al. (2017) descreveram que durante um ensaio em escala real de uma fachada cortina composta de vidros fixados com a técnica *structural glazing*, ocorreu a falha do sistema de fixação antes da quebra dos vidros, levando à queda de módulos inteiros, o que ocasionou uma rápida propagação vertical das chamas.

Os sistemas de montagem e fixação apresentados baseiam-se na conexão de montantes a estrutura de concreto. O último sistema apresentado nesse referencial utiliza grampos metálicos que unem os vidros. Em virtude desses grampos terem a semelhança com a anatomia de uma aranha, o mesmo é conhecido como *Spider glass* (BATISTA, 2017).

De acordo com Westphal (2016), esse tipo de estrutura se classifica como fachada autoportante, visto que é executada sem a utilização de caixilhos. Portanto, os vidros atuam como elementos estruturais, existindo apenas elementos de fixação entre as peças, o que justifica o fato desse sistema ser executado com vidros temperados e laminados. O sistema *Spider Glass* pode ser utilizado em pequenos fechamentos ou grandes fachadas, se adapta a qualquer tipo de edificação e dá uma impressão de vitrine por ser aplicada com uma estrutura portante esbelta. (BATISTA,2017). Na Figura 14, é apresentado o detalhe da fachada tipo *Spider Glass*.

Figura 14 – Sistema *Spider Glass*

Fonte: SIA (2011)

### 2.2.2 Características dos Vidros

O vidro mais utilizado na construção civil é o vidro plano, cuja denominação objetiva diferenciá-lo do vidro oco, utilizado em embalagens. Seu processo de fabricação mais comum do vidro é por meio da flutuação da massa de vidro em um banho de estanho derretido, o que justifica a denominação desse como vidro “float”. (WETSPHAL, 2016). O vidro *float* pode receber beneficiamentos e constitui-se como matéria prima para os demais vidros planos, como: temperados, laminados, insulados, serigrafados, curvos, espelhos, entre outros. (ABRAVIDRO, 2019).

Considerando que as fachadas envidraçadas são abordadas nesse estudo, a seguir, são apresentados os principais tipos de vidro indicadas pela NBR 7199 (ABNT, 2016) para a aplicação no sistema construtivo de interesse. No Quadro 3 são listados os tipos de vidro que podem ser aplicados em fachadas de acordo com a normativa brasileira.

Quadro 3 – Vidros para fachadas

VIDROS VERTICAIS	Fachadas: - a partir do primeiro pavimento (inclusive), abaixo da cota de 1,10m em relação ao piso; - no pavimento térreo, que dividam ambientes com desnível superior a 1,5 m.	Tipo de vidro: - vidro laminado de segurança (NBR 14697); - vidro aramado (NBR NM 295); - vidro insulado composto com os vidros citados anteriormente;
---------------------	---	---

Fonte: Adaptado de NBR 7199 (2016)

#### 2.2.2.1 Vidro Padrão (*Float*)

A produção de vidro *float* ocorre em tamanhos padronizados, com espessuras que variam de 2 a 19 mm, chegando até 25 mm, nas tonalidades: incolor, verde, bronze e cinza. (WETSPHAL, 2016). O vidro *float* não necessita de qualquer tratamento para sua aplicação, mas, devido a sua natureza frágil, este tem aplicações limitadas. (ABRAVIDRO, 2019). Conforme determinação da NBR 7199 (ABNT, 2016), que define critérios para projeto, execução e aplicação de vidros na construção civil, o vidro *float* só pode ser utilizado com todas as suas bordas encaixilhadas em rebaixo na esquadria e sua aplicação só deve ser realizada junto a elementos que estejam, no mínimo, a uma altura de 1,10 m do piso.

Wetsphal (2016) afirma que essa exigência se deve ao fato do vidro float ter um mecanismo de quebra que gera fragmentos, podendo causar ferimentos. Gunasekaran, Premalatha e Malini (2010) citam que o vidro *float* é uns dos tipos de vidros mais frágeis, tendo suscetibilidade à quebra.

A quebra do vidro pela exposição ao fogo ocorre devido à diferença de temperatura em que a peça é submetida. Esse gradiente de temperatura gera uma tensão nas bordas do vidro, ocasionando trincas e conseqüentemente a perda de resistência do elemento. (Keski-Rahkonen, 1988). Wang *et al.* (2014) afirmam que um vidro *float*, com 6 mm de espessura, resiste a uma diferença de temperatura de aproximadamente 152°C.

### 2.2.2.2 Vidro Temperado

O vidro *float* pode receber inúmeros tratamentos para melhorar as suas qualidades, dentre eles, o processo de têmpera. Esse consiste na aplicação de um tratamento térmico, no qual o vidro chega a uma temperatura uniforme de aproximadamente 650°C e é rapidamente resfriado, ganhando resistência e adquirindo um mecanismo de quebra que gera pequenos fragmentos sem bordas afiadas, não susceptíveis a causar lesões, diferenciando-se do mecanismo de quebra do vidro *float*. Ressalta-se que, uma vez realizado o processo da têmpera, o vidro não poderá mais ser furado, cortado ou esmerilhado. (GUNASEKARAN; PREMALATHA e MALINI, 2010). O vidro temperado apresenta uma resistência ao fogo maior que o vidro *float*, devido ao seu processo de têmpera, resistindo a uma diferença de temperatura entre o centro e a bordas em sua face de aproximadamente 340°C. (Wang et. al, 2018).

### 2.2.2.3 Vidro Laminado

De acordo com a NBR 14697 (ABNT, 2001), o vidro laminado é o “conjunto composto por uma ou mais chapas de vidro ou material plástico unidos com uma ou mais camadas intermediárias, que pode ter várias combinações distintas, sendo formado por vidro *float*, estirado, impresso, temperado, aramado polido, aramado impresso, ser incolor, colorido, revestido, acidado, serigrafado, além de possuir, em suas camadas intermediárias, policarbonato ou acrílico”. Dependendo da combinação, as camadas selecionadas podem proporcionar resistência ao impacto, ao fogo, controle solar e isolamento acústico. A mesma norma indica que o vidro laminado de segurança, em caso de quebra, deve possuir uma camada intermediária que tem a capacidade de reter os fragmentos de vidro, reduzindo o risco de ferimentos.

Gunasekaran, Premalatha e Malini (2010) ressaltam que, devido ao vidro laminado possuir pelo menos duas camadas de vidro e uma intermediária de polivinil butiral (PVB), esse se torna um vidro de segurança, sendo resistente a impactos e perfurações, visto que mesmo quando quebrado os fragmentos ficam aderidos ao PVB, reduzindo o risco de ferimentos.

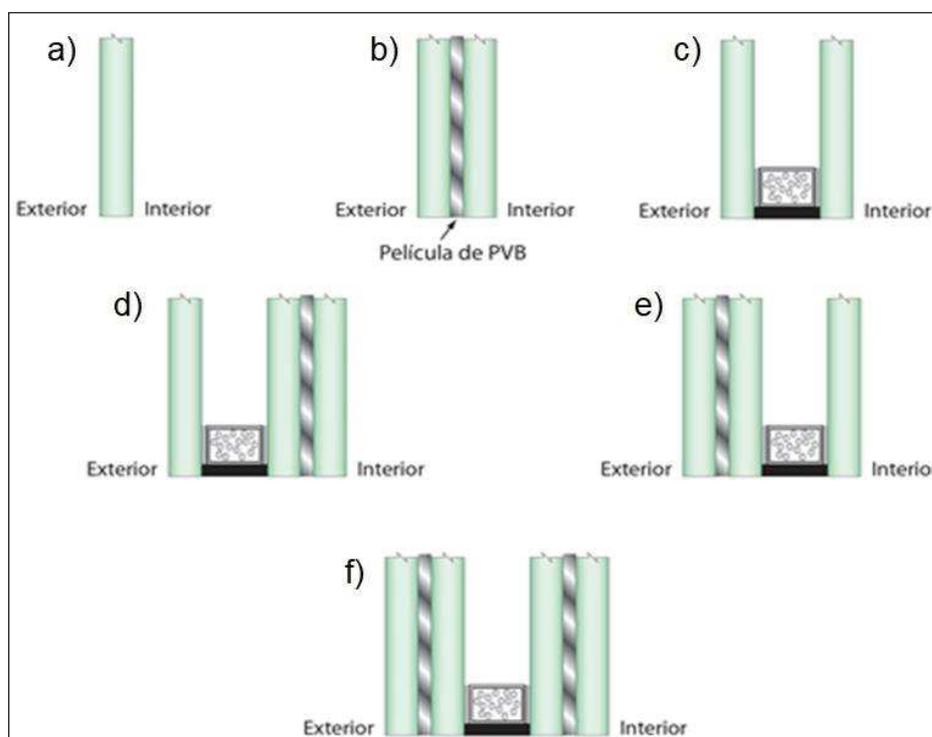
Wetsphal (2016) comenta que o vidro laminado pode conter várias configurações, tendo a camada interna de PVB ou Etileno Acetato de Vinila (EVA) e resinas. Para ser considerado de segurança, este deve ser submetido ao ensaio de resistência ao impacto estabelecido na NBR 14697 (ABNT, 2001),

#### 2.2.2.4 Vidro Insulado

O vidro insulado é o vidro composto pela combinação de dois ou mais vidros paralelos entre si, separados por um espaçador, tendo suas bordas hermeticamente seladas, criando uma câmara estanque e desidratada. Em alguns casos, essa câmara pode conter gases com a finalidade de melhorar as características térmicas e acústicas do conjunto. (ABNT, 2012). Wetsphal (2016) ressalta que deve-se tomar cuidado para que a face do conjunto no qual haja risco de impacto seja de vidro laminado. Logo, para as fachadas em pele de vidro, recomenda-se que o vidro laminado esteja voltado para o interior. Wang *et al.* (2017a) afirmam que, em geral, um vidro insulado apresenta melhor resistência ao fogo do que vidros simples, mas são necessárias mais pesquisas para entender o comportamento desse componente.

Na Figura 15 são apresentadas as configurações mais comumente utilizadas dos vidros aplicados na construção civil.

Figura 15 – Configurações mais comuns de vidros na construção civil



Legenda: a) vidro monolítico podendo ser: *float*, aramado ou temperado; b) vidro laminado; c) vidro insulado com duas camadas de vidro monolítico; d) vidro insulado com uma camada de vidro monolítico e um vidro laminado; e) vidro insulado com duas camadas de vidro laminado; e) vidro insulado com duas camadas de vidro laminado.

Fonte: Adaptado de SunGuard (2019)

### 2.2.2.5 Vidros Especiais

Uma preocupação das fachadas envidraçadas é o ganho de calor excessivo. Antes dos vidros chamados de baixo-emissivos (*Low-e*), utilizavam-se vidros coloridos ou reflexivos que diminuíam a entrada de luz no ambiente, todavia, os vidros coloridos tendem a retransmitir o calor absorvido para o ambiente por radiação (SUNGUARD, 2019).

Com a mudança na composição química, através da adição de metais e óxidos metálicos, são obtidos os vidros coloridos. Um vidro colorido absorve mais calor que um vidro transparente, aquecendo o ambiente interno. Os revestimentos de baixa emissividade são mais adequados para o envidraçamento, pois bloqueiam comprimentos de onda infravermelhos, evitando a irradiação para o ambiente interno e permitindo a entrada de luz. Apesar de serem os mais adequados em relação ao conforto térmico de fachadas, esse tipo de vidro não apresenta propriedade diferenciada em relação à segurança contra incêndios (MEMARI, 2013).

Dentre os vidros especiais para segurança contra incêndios, tem-se os classificados como para-chamas e os corta-fogo. Conforme determinado pela IT nº 03/2019 (SÃO PAULO, 2019b), um elemento para-chamas é aquele que tem a capacidade de resistir às chamas, bloqueando-as e impedindo a passagem de fumaça durante um determinado tempo, mas não impedindo a transferência de calor de um ambiente para ao outro, não oferecendo isolamento térmico. O elemento corta-fogo é aquele que tem a capacidade de barrar as chamas, a fumaça e o calor, oferecendo, também, isolamento térmico.

Os vidros para-chamas podem ser laminados com várias lâminas ou em *borofloat* (WETSPHAL, 2016). Os vidros denominados como *borofloat* são descritos pela NBR 14925 (ABNT, 2019) como vidros de borossilicato que contém de 7% até 15% de óxido de boro incorporado, conferindo uma alta resistência à quebra térmica.

No caso do vidro corta-fogo, a composição consiste em um vidro laminado que possui camadas de gel intumescente, garantindo a integridade e o isolamento. Esse gel tem a capacidade de perder água com o calor gerado pelo fogo e o processo de intumescência é iniciado, tornando o vidro opaco. O gel tem capacidade de absorver a radiação térmica durante um certo período, impedindo o aumento de temperatura na face oposta ao incêndio (WETSPHAL, 2016).

A NBR 14925 (ABNT, 2019) classifica sistemas envidraçados de compartimentação que tem características de elementos para-chamas como sendo elementos que mantêm sua integridade (E) e elementos de compartimentação envidraçados, que possuem características dos elementos citados como corta-fogo, como os que mantêm sua integridade e isolamento térmica (EI).

As fachadas envidraçadas são sistemas que podem ser compostos de vários materiais e inúmeras formas de montagem, sendo que o elemento que veda a maior área é o vidro. Por isso, conhecer o seu comportamento quando exposto ao fogo é crucial para o desenvolvimento de pesquisas na área (Wang, 2019).

### 2.3 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS EM FACHADAS CORTINA

O elemento envidraçado é considerado resistente ao fogo à medida em que tem a capacidade de manter a integridade mecânica, estanqueidade, isolamento térmico, redução de radiação e capacidade (caso seja um elemento estrutural) (ABNT,

2019). Logo, a estabilidade estrutural da fachada e de seus elementos é um fator determinante para a avaliação do sistema em relação à segurança contra incêndios.

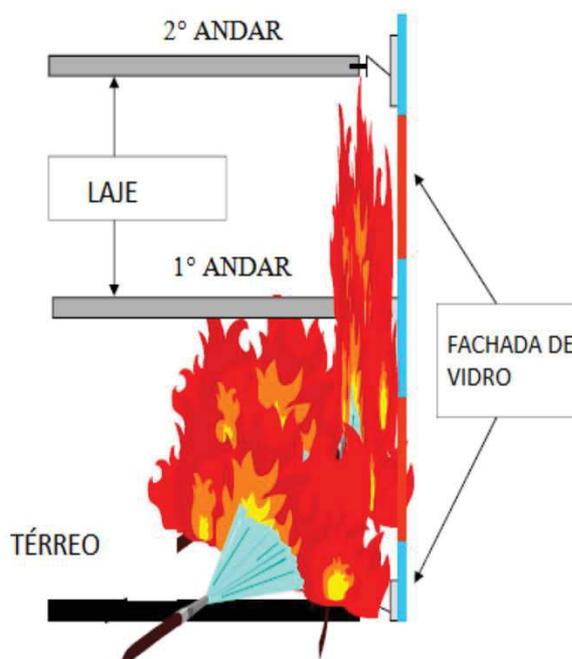
De acordo com o experimento de Lu et al. (2018), painéis de vidro apresentam uma tendência à fissuração que levaram os elementos ao colapso e ao descolamento de sua estrutura portante quando expostos a temperaturas críticas de 300 a 500°C, fenômeno que varia de acordo com o tipo de vidro e forma de fixação. Conforme o Eurocode 3 (EN 1993-1-2, 2005), os elementos de aço iniciam um processo de perda de resistência quando submetidos a temperaturas de 400°C. Ao atingir a temperatura de 600°C, o elemento perde cerca de 60% de sua resistência inicial. De acordo com Eurocode 9 (EN 1999-1-2, 2007), elementos de alumínio entram em fusão com temperaturas entre 600°C e 650°C e dependendo de sua liga, podem perder 50% de sua resistência quando submetidos a temperaturas entre 200°C e 250°C.

Nos experimentos de Asimakopoulou et al. (2016) e Miao e Chow (2018), observou-se que a temperatura de um incêndio, que se propaga através de uma abertura para face externa da uma fachada, pode alcançar temperaturas entre 600°C e 1000°C até 1 m acima da abertura.

### **2.3.1 Medidas de Proteção Contra Propagação Interna**

Em relação às fachadas cortina, um dos principais problemas observados é a falha na compartimentação vertical entre pavimentos consecutivos devido à perda de resistência ao fogo dos elementos existentes na fachada (CHEN; VICTOR, 2012), ocasionando a propagação vertical do fogo entre os pavimentos pela face interna da fachada, conforme demonstrado na Figura 16.

Figura 16– Propagação interna a fachada entre lajes

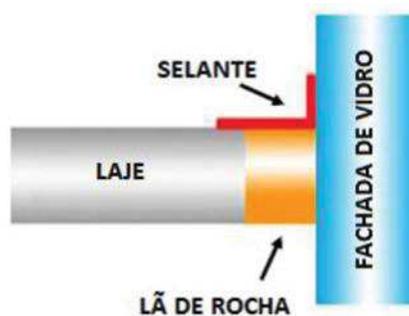


Fonte: TOMA (2012, p. 7)

Van (2016) cita que um dos riscos existentes quando ocorre um incêndio no pavimento inferior de uma edificação é o fogo se alastrar para o pavimento superior através da ligação entre a laje e a fachada. Um dos meios de impedir que eventos como este ocorram é aplicar materiais que selem o ponto de união contra os efeitos do fogo.

Chen e Victor (2012) e Toma (2012) indicam que, para prevenir a propagação interna das chamas, deve-se aplicar uma barreira periférica, composta por uma camada de lã de rocha, que tem a propriedade de resistência ao fogo e uma camada selante, que tem a função de impedir a passagem da fumaça e manter a integridade do conjunto (Figura 17). Isso porque, quando submetidos a altas temperaturas, os elementos da fachada se deformam, causando perda de estabilidade na união laje, lã de rocha e fachada cortina.

Figura 17 – Exemplo de barreira periférica interna à fachada de vidro



Fonte: TOMA (2012, p. 43).

Srivastava et al. (2020) afirmam que a correta aplicação de barreiras periféricas internas entre pavimentos é uma forma eficaz de evitar a propagação vertical do fogo entre pavimentos e que os ensaios desses materiais devem ocorrer em estruturas montadas de forma que representem o mais próximo possível a aplicação real. Segundo os mesmos autores, a avaliação dos materiais de forma individual não assegura seu desempenho após a aplicação.

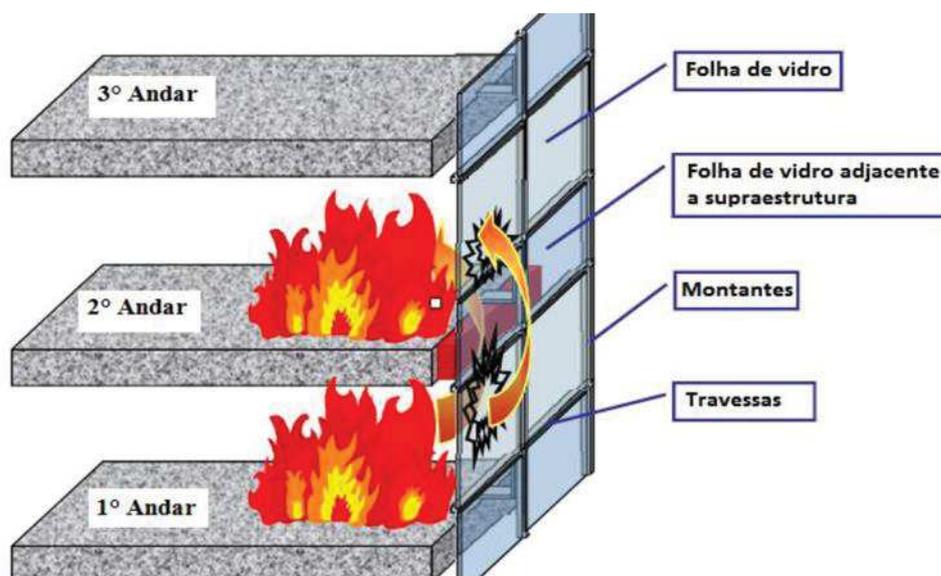
A NFPA 5000 (NFPA, 2018) exige a colocação de barreiras periféricas contra incêndios na união entre a laje e a fachada cortina e indica que essas barreiras devem ter o seu tempo de resistência e estanqueidade ao fogo medido através do ensaio ASTM E2307 (2016).

Neste contexto, a IT nº 09/2019 (SÃO PAULO, 2019e) exige selo, corta fogo entre a laje e a fachada e uma barreira em alvenaria de 1,20 m, conforme apresentado na Figura 3, ou um prolongamento da laje de 0,90 m além da fachada. Para classes de risco baixo, poderá haver uma combinação de prolongamentos, que somados tenham 1,20 m, conforme ilustrado na Figura 4.

### 2.3.2 Medidas de Proteção Contra Propagação Externa

Além da propagação interna das chamas, Van Delan et al. (2004) citam que deve haver a preocupação com a propagação externa do fogo devido à pouca resistência ao incêndio oferecida pelo vidro, que acaba se quebrando e permitindo a propagação das chamas mesmo com a existência da barreira periférica interna, conforme apresentado na Figura 18.

Figura 18 – Propagação pela parte externa da fachada

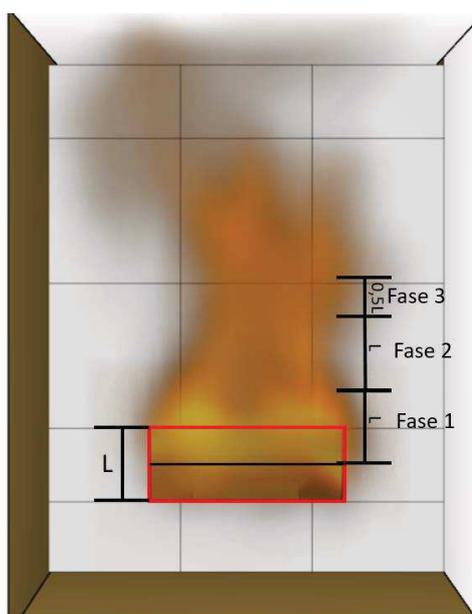


Fonte: TOMA (2012).

Van (2016) comenta que, após mitigado o risco de propagação interna, deve-se atentar ao fenômeno da propagação externa, que pode ser proveniente do pavimento inferior ou até mesmo de prédios vizinhos. O mecanismo de propagação externo da chama é denominado *leap-frog*. Dependendo das configurações da fachada e carga de incêndio envolvida, esse fenômeno faz com que o fogo se propague, de um andar para o outro, em cerca de 3 min, limitando severamente o tempo de evacuação da edificação (SRIVASTAVA et al, 2020). Van (2016) alerta que esse mecanismo de propagação, além de diminuir o tempo de evacuação da edificação, gera um risco às equipes de resgate, pois pode haver a queda de partes da fachada durante o incêndio. Neste caso, detalhes construtivos das fachadas devem ser projetados para não oferecerem esse risco.

Em um experimento em escala reduzida, Miao e Chow (2018) observaram três fases do desenvolvimento da ejeção da chama através de uma abertura. Na primeira fase, ocorreram temperaturas acima de 800°C concentradas na região compreendida a partir do centro da abertura e elevando-se uma vez a medida de altura da própria abertura. Na segunda fase, manteve-se uma temperatura constante de aproximadamente 600°C, localizada acima da fase 1, partindo do centro da abertura com limite a aproximadamente duas vezes a dimensão vertical da abertura. Na terceira fase a temperatura apresentou-se em torno de 300°C acima da fase 2, tendo seu limite até 2,5 vezes a altura da abertura. Na Figura 19 estão demonstradas as 3 fases descritas anteriormente.

Figura 19 – Fases da chama



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Gunasekaran, Premalatha e Malini (2010) citam que o mecanismo de propagação, denominado “salto da chama”, que ocorre através da fachada ou ao redor da mesma, gera uma preocupação em edifícios altos. Os autores também indicam que existem duas maneiras básicas para aumentar a segurança desses sistemas. A primeira é apoiar a fachada sobre a laje de cada pavimento, uma vez que a laje se estenda além da fachada. Neste caso, os autores não informam as dimensões desse prolongamento. Outra situação é quando a fachada se posiciona para fora da edificação, sendo que os autores indicam que deve haver um selo corta fogo entre a união da laje com a fachada, devendo o selo corta fogo ser ensaiado conforme o ensaio ASTM E2307 (ASTM, 2020).

A partir de um ensaio em escala real, Srivastava et al (2020) indicam que a utilização de uma parede de alvenaria de 1,80 m, entre pavimentos, somada a uma barreira periférica interna na ligação da laje com a fachada, são suficientes para isolar completamente os pavimentos inferiores dos superiores, evitando a propagação vertical interna e externa do fogo. De acordo com Konecki e Galaj (2017), materiais resistentes ao fogo aplicados nas aberturas das edificações podem contribuir para mitigar a propagação do fogo pela fachada externa de edifícios altos. Peng, Ni e Huang (2013) concluíram que uma barreira isolante de material não combustível de 300 mm de altura é eficaz para retardar a propagação em paredes externas.

Através de simulações computacionais utilizando o software Pyrosim/FDS®, calibrado a partir de ensaios laboratoriais de ignitabilidade dos materiais, Dârmon (2012) observou que, quando se trata de propagação vertical do fogo, através de janelas, em fachadas revestidas com blocos de poliestireno expandido, uma faixa constituída de material incombustível, como lã mineral de 80 cm de altura, é eficaz para evitar a propagação. Em um experimento envolvendo propagação externa vertical de fogo em fachadas, Lalu (2016) concluiu que, se aplicada da forma correta, uma barreira vertical incombustível de 50 cm de altura é eficaz para a segurança contra incêndios no quesito de propagação vertical.

Também utilizando o software Pyrosim/FDS®, Nilsson et al (2018) concluíram que, de modo geral, as projeções horizontais têm maior eficácia em impedir a propagação vertical das chamas. Uma projeção horizontal de 0,60 m tem mais eficácia que uma projeção vertical de 1,20 m. Um recuo do pavimento superior de 0,40 m tem a mesma eficácia que uma projeção vertical de 1,20 m e uma combinação entre projeção vertical e horizontal ou recuo pode apresentar o mesmo desempenho das configurações citadas, possibilitando a flexibilização dos modelos de compartimentação vertical e em consequência flexibilizando também os projetos arquitetônicos.

### **2.3.3 Estudos Experimentais**

De acordo com a NBR 14925 (ABNT, 2019), a determinação da resistência ao fogo de um elemento envidraçado deve considerar todos os componentes do sistema, como os destinados à fixação, integridade, estanqueidade e estabilidade. Os corpos de prova devem ser montados de forma que representem da melhor maneira possível a realidade, incluindo todos os aspectos construtivos.

Na inviabilidade de reproduzir um modelo em tamanho necessário para representar a realidade, a extrapolação da aplicação do resultado está condicionada a estudos que comprovem a viabilidade desse procedimento. Quando necessário, devem ser observadas as NBR 5628 (ABNT, 2001), NBR 6479 (ABNT, 1992) e a NBR 10636 (ABNT, 1989).

Em se tratando de barreiras perimetrais contra incêndios que visam impedir a propagação vertical do fogo em fachadas envidraçadas, o ensaio ASTM E2307 (ASTM, 2020) tem critérios específicos para avaliar esses sistemas, indicando se os

mesmos são resistentes ao ciclo de movimentos, ao fogo e integridade em relação à penetração de gases quentes ou chama, podendo haver a aplicação de carga durante o ensaio. A conformidade deste ensaio ao fogo e integridade deve atender às seguintes condições: a média do aumento de temperatura nos termopares localizados acima da junta de proteção no lado interno, no pavimento superior, não pode ser maior do que 139°C e a temperatura máxima em qualquer desses termopares não deve ultrapassar 181°C; a barreira deve ser capaz de evitar a passagem de gases quentes suficientes para proporcionar a ignição de uma almofada de algodão. A quantidade de fumaça e gases quentes é apenas observada e não medida.

Os critérios estabelecidos pela ASTM E2307 (ASTM, 2020) são muito próximos dos estabelecidos pela NBR 10636 (ABNT, 1989) para considerar o elemento satisfatório em relação ao isolamento térmico e estanque a passagem de gases ou chamas. A NBR 14925 (ABNT, 2019) determina que a resistência ao fogo de fachadas envidraçadas deve ser medida pelo lado interno a um incêndio, de acordo com a curva ISO 834 (ISO, 2014), na qual as temperaturas de exposição pelo lado externo devem seguir a Equação 2. Esta equação é fornecida pelo Eurocode 1 (EN 1991-1-2, 2002).

$$T = 660(1 - 0,687e^{-0,32t} - 0,31e^{-3,8t}) + 20 \quad (2)$$

Onde:

T – é a temperatura expressa em graus Celsius

t – é o tempo em minutos

A NBR 14925 (ABNT, 2019) define uma classificação específica de resistência ao fogo para elementos envidraçados de fachada, conforme apresentado no Quadro 4, mas não define de que forma devem ser obtidas e aplicadas essas temperaturas, bem como não fornece qual equipamento deve ser usado e de que forma a chama deve ser direcionada. Essa indefinição acontece tanto para a exposição interna quanto para a externa.

Quadro 4 – Classificação para elementos aplicados em fachadas

<b>Classificação</b>	<b>15 min</b>	<b>20 min</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>	<b>120 min</b>
E			X	X	X	X
EW			X	X	X	X
EI	X	X	X	X	X	X

Fonte: adaptado de NBR 14.925 (ABNT, 2019)

Conforme exposto no Quadro 4, a classificação E corresponde à integridade do elemento de compartimentação e a capacidade dele de resistir ao fogo sem que haja a transmissão do mesmo para a outra face. A classificação W se refere à capacidade do elemento de compartimentação de suportar o fogo e garantir por um determinado período de tempo que a medição de temperatura do lado não exposto ao fogo permaneça abaixo de níveis especificados na NBR 5628 (ABNT, 2001). A classificação I corresponde à capacidade do elemento de compartimentação de resistir ao fogo e garantir que a condução de calor por radiação, para o lado não exposto, seja insuficiente para ignizar materiais em contato com sua superfície protegida e, também, proporcione segurança às pessoas próximas à superfície protegida durante o tempo indicado. No último caso, a norma não determina quais materiais ou temperatura de ignição, nem qual a distância considerada dos ocupantes do ambiente em relação à face protegida. As classificações podem ser combinadas como demonstrado no Quadro 4.

Outra definição não estabelecida pela NBR 14925 (ABNT, 2019) é se o ensaio leva em consideração a propagação externa ou apenas a análise da face do elemento. Apesar da ASTM E2307 (ASTM, 2020) seguir curvas de temperatura mais severas nos primeiros 30 min, esse apresenta especificações para a realização do mesmo, o que não acontece no método proposto na NBR 14925 (ABNT, 2019). O ensaio ASTM E2307 (ASTM, 2020) especifica queimadores, distâncias, medidas do protótipo, localização dos termopares, temperaturas em cada termopar, fluxo de calor esperado na face externa do sistema ensaiado e método de calibração, dando mais subsídios para a padronização da análise dos resultados finais e, também, analisa a propagação externa e interna do fogo, classificando a barreira perimetral de uma forma análoga à NBR 14925 (ABNT, 2019).

Na ASTM E2307 (2020), o sistema de fachada é aplicado e ensaiado em um protótipo que simula uma edificação de 2 pavimentos, no qual o incêndio ocorre no

pavimento inferior (sala de teste) e o desenvolvimento vertical das chamas é analisado em relação ao pavimento superior (sala de observação). A dimensão desses pavimentos é informada na referida norma, enquanto que a NBR 14925 (ABNT, 2019) não indica a dimensão de fachada a ser ensaiada, apenas cita que, devido a limitação imposta pelas dimensões dos fornos disponíveis para ensaio, pode se tornar necessário extrapolar os resultados para dimensões reais de instalação.

Outro ponto de divergência importante entre as duas normas é em relação à exigência de calibração. A ASTM E2307 (ASTM, 2020) apresenta um procedimento padrão para calibração, que conta com uma fachada construída em gesso acartonado especificada conforme a *Gypsum Association* (GA) WP 1548 (GA, 2009). Essa fachada possui uma abertura que tem a finalidade de simular a propagação das chamas pela face externa da parede de calibração, conta com: 14 termopares, sendo 6 unidades na fachada e mais 8 unidades dentro da sala de teste, 3 sensores de fluxo de calor posicionados juntamente com os termopares externos 3, 4 e 5 e 2 queimadores, um posicionado na sala de testes e um externo na frente da abertura da fachada, e os dois queimadores com dimensões e posições determinadas.

A ASTM E2307 (ASTM, 2020) apresenta valores referência de vazão de gás dos queimadores, entretanto, alerta que o tipo de gás não é importante e a vazão pode variar. O importante é que as médias das temperaturas dos termopares de calibração sejam alçadas com uma variação máxima de 10% para mais ou para menos. No caso dos sensores de fluxo de calor, a tolerância varia de acordo com o tempo. As temperaturas dos termopares de calibração e tolerâncias do sensores de fluxo de calor são indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Temperaturas de calibração

	Tempo (min.)					
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
TPIST 1 a 5 (C°)	622	730	806	871	869	898
TPI 1 a 3 (C°)	574	703	778	859	858	902
TPE 2 (C°)	317	466	511	533	563	581
TPE 3 (C°)	359	546	605	639	674	702
TPE 4 (C°)	341	521	591	634	674	712
TPE 5 (C°)	302	459	528	573	613	662
TPE 6 (C°)	272	407	469	509	542	597
TPE 7 (C°)	244	366	419	458	489	543
SFC 1 (w/cm <sup>2</sup> )	0,9 ± 0,2	1,9 ± 0,4	2,5 ± 0,5	2,9 ± 0,6	3,4 ± 0,7	3,8 ± 0,8
SFC 2 (w/cm <sup>2</sup> )	1,0 ± 0,2	2,0 ± 0,4	2,6 ± 0,5	3,2 ± 0,6	3,7 ± 0,7	4,0 ± 0,8
SFC 3 (w/cm <sup>2</sup> )	0,8 ± 0,2	1,5 ± 0,3	2,0 ± 0,4	2,5 ± 0,5	3,0 ± 0,6	3,4 ± 0,7

Legenda: TPIST 1 a 5 e TPI 1 a 3 (Termopares Sala de teste); TPE 2 a 7 (Termopares Parede de Calibração); SFC 1 a 3 (Sensores de Fluxo de Calor Parede de Calibração)

Fonte: Adaptado de ASTM E2307 (ASTM, 2020)

O ensaio prescrito na NBR 14925 (ABNT, 2019) não indica procedimento de calibração, apenas a curva de temperaturas que devem ser seguidas. No entanto, também não indica quais os locais de medição dessa temperatura. A referida norma cita que, na ausência de método de ensaio que classifique corretamente o elemento em questão, a classificação deverá ser feita a partir de ensaios internacionais específicos, indicando a possibilidade de aplicação estendida dos resultados.

Mesmo a nível internacional, não existe um consenso sobre qual é ensaio ideal para determinar o desempenho de fachadas em situação de incêndio. Existem alguns métodos que se prestam a essa finalidade, no entanto, diferem em escala, formato e fonte do incêndio (CANCELLIERE et al, 2020). No Quadro 5 estão listados 13 tipos de ensaios estrangeiros voltados a avaliação de fachadas em situação de incêndio.

Quadro 5 – Ensaio de fachada estrangeiros

<b>Ensaio</b>	<b>Países que utilizam o método</b>	<b>Tipo de combustível</b>	<b>Escala</b>
DIN 4102-20	Suíça e Alemanha	Berço de madeira/ queimador a gás	Média
BS 8414 series	Reino Unido e Irlanda	Berço de madeira	Grande
PN - B - 02867	Polônia	Berço de madeira	Média
ISO 13785-1	República Checa	Queimador a gás	Média
ISO 13785-2	Eslováquia	Propano / líquido (por exemplo, heptano) / berços de madeira	Média
LEPIR 2	França	Berço de madeira	Grande
MZ 14800-6	Hungria	Berço de madeira	Grande
SP Fire 105	Suécia, Noruega e Dinamarca	60 l de Heptano	Grande
Technical regulation A 2.2.1.5	Alemanha	Berço de madeira	Grande
ÖNORM B 3800-5	Suíça e Áustria	Berço de madeira	Média
NFPA 285	EUA	Queimador interno e externo a gás	Média
ASTM E2307	EUA	Queimador interno e externo a gás	Média
CAN / ULC - S134	Canadá	Queimador de propano	Grande
FM 4880	EUA	Paletes de madeira	Grande

Fonte: Adaptado de Cancelliere et al (2020)

OS ensaios BS 8414 – 1 (BS, 2002), SP Fire 105 (FIRE, 1994) e ISO 13785-2 (ISO, 2002) foram comparados entre si objetivando a análise da confiabilidade em relação à repetibilidade dos mesmos. Conclui-se que o aspecto de repetibilidade dos ensaios citados é questionável pois a origem do incêndio, nos três casos, é uma fonte de combustível pré-determinada. Portanto, não é possível controlar a exposição ao calor na superfície da fachada. Outro ponto importante é que se tratam de ensaios em grande escala, que são executados em espaço aberto, não sendo possível controle do vento, o que causa um impacto significativo nos resultados (ANDERSON et al, 2018).

Conforme relatado por Anderson et al. (2016a), a melhor forma de garantir a repetibilidade e reprodutibilidade de um ensaio voltado às fachadas cortina é a utilização de uma curva de temperatura padrão, com queimadores a gás que possibilitem uma regulação de vazão. Todavia, a natureza da fonte de incêndio tem

sido debatida e não se houve um consenso a respeito deste tema até o presente momento.

### **2.3.4 Fatores Relevantes no Desempenho das Compartimentações Verticais**

O desempenho de uma compartimentação vertical é diretamente influenciado pelo tipo de selagem corta fogo interna, pelos materiais presentes na fachada e pelas dimensões dos prolongamentos verticais e horizontais, bem como pelos materiais que compõem esses prolongamentos. Nas selagens corta fogo internas, os fatores determinantes de eficácia desses componentes são o TRF da selagem e sua correta aplicação. Quando substituída pelo prolongamento da laje, o determinante será o TRF da própria laje (SRIVASTAVA et al, 2020).

Quando se tratam dos prolongamentos, tanto verticais como horizontais, os materiais escolhidos devem atender o TRRF, e suas dimensões e posição são os fatores determinantes para sua eficácia (NILSON et al, 2018; NBE-CPI/96 ESPANHA, 1996; PORTUGAL, 2008; EN 1991 -1-2 2002).

## **2.4 ESTUDOS COMPUTACIONAIS**

A realização de ensaios com a finalidade de observar a dinâmica do fogo, contribuindo para o conhecimento científico desse fenômeno, muitas vezes é difícil e dispendioso visto que, em alguns casos, os equipamentos, medidores e protótipos são destruídos (RODRIGUES, 2009). Com o avanço tecnológico, possibilitou-se o desenvolvimento de softwares de simulação computacional que permitem a avaliação da dinâmica de um incêndio, retornando informações sobre temperatura, densidade, pressão e movimento da fumaça.

O *National Institute of Standards and Technology* (NIST) desenvolveu o software *Fire Dynamics Simulator* (FDS), que cria modelos computacionais da dinâmica dos fluidos em um evento de incêndio (CFD) otimizados para fluxos de baixa velocidade e acionados termicamente. Esse software é regido pelas equações de Navier-Stokes e permite a previsão do desenvolvimento de fumaça, temperatura, monóxido de carbono e outras substâncias durante incêndios permitindo viabilizar, também, a descrição de sinistros em geometrias complexas, o que caracteriza esta como uma ferramenta flexível (MCGRATTAN, 2020b).

Outra ferramenta complementar ao FDS é o software *Smokeview*, que tem a função de retornar uma saída de dados visual a partir das previsões numéricas geradas para o fogo no FDS, mostrando a variação dessas previsões de acordo com o tempo. Esse pode ser utilizado no momento da conclusão do cálculo ou durante ele, objetivando o monitoramento do progresso da simulação (FORNEY, 2019).

Apesar das grandes potencialidades do software FDS, originalmente, a entrada de dados era complexa. Frente a esta situação, a empresa *Thunderhead Engineering* desenvolveu um software denominado *PyroSim*, que permite a criação de uma interface gráfica, na qual o usuário pode alterar as unidades de medida, utilizar recursos de criação de elementos 2D e 3D, importar arquivos de outros softwares de desenho gráfico, fornecendo uma entrada de dados compatível para o FDS versão 6.7.4 (THUNDERHEAD ENGINEERING, 2020).

Em seu estudo, Luz (2017) afirma que a simulação computacional através do software *Pyrosim/FDS®*, teve resultados condizentes com a situação de incêndio real, possibilitando a visualização dos resultados em formato gráfico, facilitando a análise dinâmica do evento, reforçando que os resultados obtidos por simulações numéricas auxiliam no desenvolvimento de técnicas ativas e passivas de proteção contra incêndio em edificações. De acordo com McGrattan et al. (2020b), para simulação computacional ser adequada e condizer com a realidade, é necessário definir qual será a malha de cálculo mais adequada. As malhas são domínios compostos por volumes retilíneos, divididos em células retangulares, e o número de células depende da resolução da malha que será utilizada.

De acordo com a *Nuclear Regulatory Commission* (NRC) (2012), um modelo de dinâmica dos fluidos computacional é útil para determinação de cenários de incêndio complexos, nos quais haja elementos que desempenhem papéis significativos nessa dinâmica. Esses modelos aplicam uma série de equações de conservação de massa, momento e energia, dentro de cada célula que compõe a malha de cálculo, que, coletivamente, descrevem o ambiente de incêndio. Por isso, a resolução da malha é um fator importante de cálculo, e um menor número de células resulta em uma malha mais grossa, podendo apresentar resultados imprecisos; e um maior número de células origina uma malha mais fina com resultados mais precisos.

McGrattan (2020) indica que, para determinação das dimensões das células de uma malha, é necessário determinar o diâmetro característico do fogo através da Equação 3.

$$D^* = \left( \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} * c_p * T_{\infty} * \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (3)$$

Onde:

$D^*$  - Diâmetro característico do fogo

$\dot{Q}$  – Taxa total de liberação de calor em kW

$\rho_{\infty}$  - Densidade do ar, em kg/m<sup>3</sup>

$c_p$  – Calor específico do ar, em kJ/kg-K

$T_{\infty}$  - Temperatura ambiente, em K

$G$  – Aceleração da Gravidade, em m/s<sup>2</sup>

A partir da determinação do diâmetro característico do fogo ( $D^*$ ), esse valor deve ser dividido pelo  $dx$ , que é o tamanho nominal de uma célula. De acordo com Thunderhead Engineering (2020), os estudos devem começar com valores de  $dx=5$ , logo  $D^*/5$ , que é considerada uma malha com baixa resolução, até alcançarem valores de  $dx=20$ , logo  $D^*/20$ , que é considerada uma malha de alta resolução com cálculos mais precisos.

Ainda segundo Thunderhead Engineering (2020), o analista deve avaliar o equilíbrio entre densidade da malha e tempo de processamento, visto que o aumento da resolução da malha onerará o tempo de processamento sem ganhos significativos na precisão de cálculo. A NRC (2012) comenta que a redução do tamanho da célula em um fator de 2 reduz o erro em um fator de 4 e aumenta o tempo de processamento em um fator de 16. Em seu estudo, Thunderhead Engineering (2020) concluiu que valores de  $dx$  devem variar de 4 até 16, e que o valor de 10 gera uma malha de média resolução, equilibrando o tempo de processamento e precisão de cálculos para plumas de fogo. Na simulação do ensaio BS-8414-1 (BS, 2002), com uma carga de incêndio estimada em 7 MW, Dréan et al (2019a) determinaram que os valores das dimensões ideais das células estão entre 0,125 m e 0,25 m, encontrando uma boa correlação entre os resultados das simulações computacionais em relação aos ensaios reais.

Thunderhead Engineering (2020) afirma que, para alcançar a precisão ideal na simulação, é importante definir uma malha na qual as células têm aproximadamente as mesmas dimensões perimetrais e sua distribuição dentro da malha seja uniforme

nos três eixos. No momento da definição da malha, o *Pyrosim/FDS*® valida esses critérios, retornando ao usuário a conformidade ou não da malha escolhida. Outro ponto relevante se refere ao posicionamento dos objetos de uma simulação, que devem estar de acordo com a malha selecionada, visto que, se o posicionamento for inadequado, o software reposicionará o objeto durante a simulação.

Nilsson et al. (2018) afirmam que modelos gerados no *Pyrosim/FDS*® são considerados adequados como uma ferramenta de simulação para propagação externa de incêndio em fachadas constituídas por materiais não combustíveis. Anderson et al. (2016b) encontraram uma correlação próxima entre os resultados das simulações dos ensaios SP Fire 105 (FIRE, 1994), BS 8414-1 (BS, 2002) e o ISO 13785-2 (ISO, 2002) em relação aos resultados dos ensaios reais. Entretanto, perde-se a correspondência de temperaturas que são medidas muito próximo da fonte do fogo.

Em relação à condução de calor, o software *Pyrosim/FDS*® considera que as superfícies dos elementos sólidos têm uma transferência de calor unidimensional, o que é uma aproximação adequada e rápida em termos de modelagem computacional, considerando que essa simplificação apresenta limitações. Por exemplo, quando uma região de uma obstrução sólida é aquecida, esse calor não será transferido radialmente e o aquecimento que é transmitido de um lado para outro do sólido não aquecerá os limites adjacentes do mesmo (THUNDERHEAD ENGINEERING, 2017).

As instabilidades numéricas apresentadas pelo *Pyrosim/FDS*®, geralmente, são provenientes do modelo e não do software. A principal causa dessas instabilidades está relacionada com o aumento ou diminuição da pressão dentro da malha, em casos típicos de incêndios dentro de um ambiente fechado o ar é aquecido, expande e ocorre um aumento de pressão, o que eventualmente causa uma instabilidade. A solução é garantir aberturas de ventilação para equilibrar essa pressão (THUNDERHEAD ENGINEERING, 2020).

Fazendo um comparativo entre resultados experimentais e simulações computacionais, Dréan et al. (2019b) concluíram que, mediante a definição adequada da malha e dos dados de entrada, as simulações computacionais demonstram concordância nos resultados em relação a experimentos reais quando executadas a partir de um ensaio em escala intermediária. Desta forma, pode-se afirmar que o modelo numérico consegue prever o comportamento desses sistemas globalmente, tornando-os ferramentas importantes para auxílio em pesquisas relacionadas à segurança contra incêndios (DRÉAN et al, 2019b).

### 3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Com o objetivo de avaliar a segurança contra incêndios de sistemas de fachada cortina, procedeu-se com o desenvolvimento de um modelo para simulações computacionais no software *Pyrosim/FDS®* com vistas a reprodução do procedimento de ensaio prescrito pela ASTM E2307 (ASTM, 2020). A seguir, são apresentadas as características, propriedades, calibração e validação do modelo computacional.

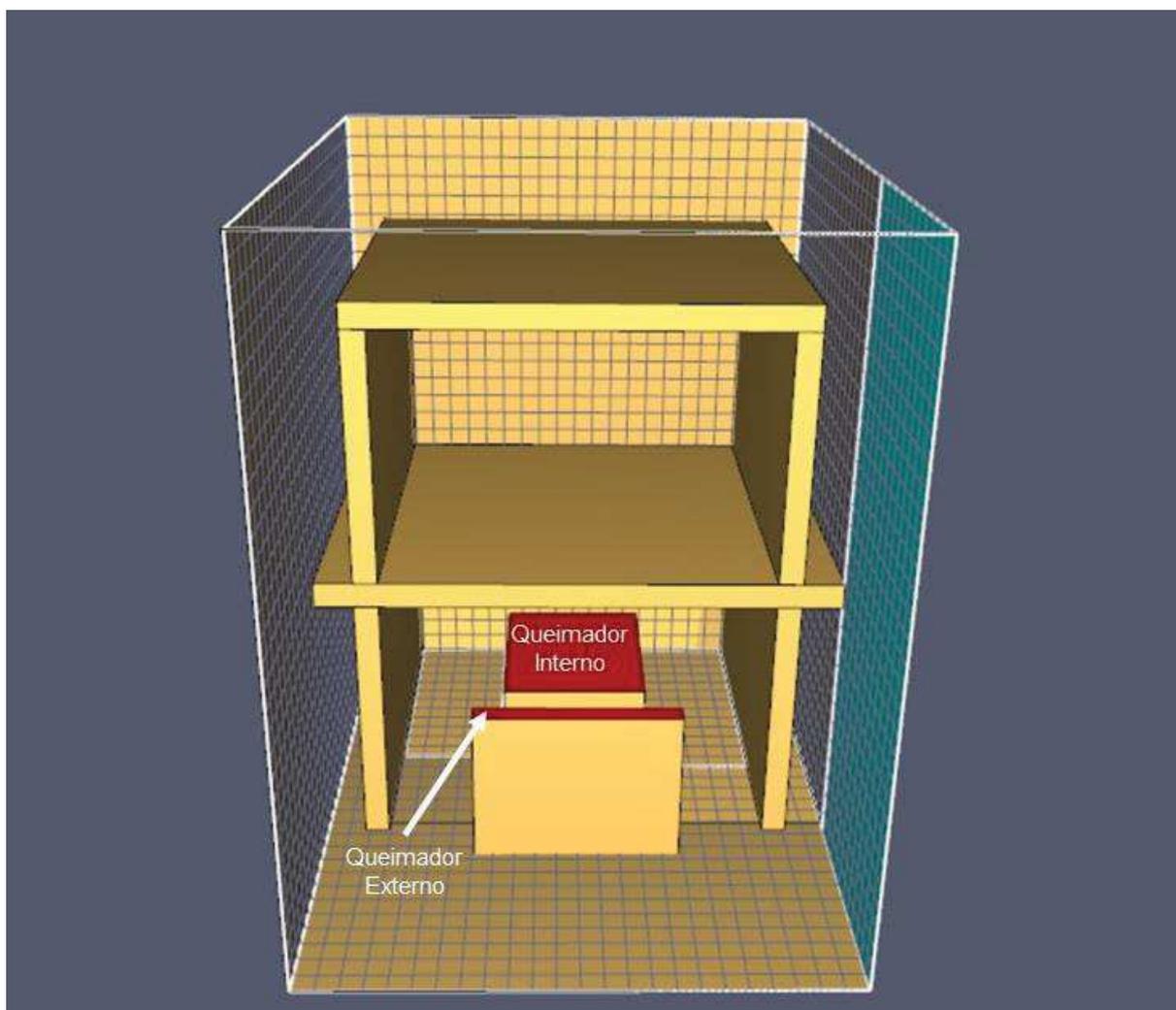
#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DO MODELO COMPUTACIONAL

O ensaio ASTM E2307 (ASTM, 2020) determina a utilização de um equipamento de testes que consiste em uma edificação de dois pavimentos, sendo o primeiro pavimento uma sala de testes e o segundo uma sala de observação. As duas salas possuem dimensões internas, em planta, de 3,05 x 3,05 m e cada sala possui o pé direito de 2,13 m. Esse aparato possui três lajes: uma localizada no nível zero, outra na cota 2,25 m e outra de cobertura, na cota 4,50 m, todas com 0,20 m de espessura e suportadas por pilares metálicos externos à edificação. As lajes de concreto armado e as paredes em blocos de concreto foram reproduzidas, no software, de acordo com as dimensões prescritas no respectivo ensaio, foram consideradas como um material inerte ao fogo.

O aparato de ensaio consiste em dois queimadores: um interno, de formato retangular 2,00 x 1,575 m, inserido de forma horizontal na sala de testes, e um queimador externo de formato retangular 1,291 x 1,240 m, suportado por uma plataforma móvel sobre rodas. Os dois queimadores são formados por tubos circulares de aço com 51 mm de diâmetro e envoltos por manta cerâmica.

Devido à dificuldade de reproduzir elementos dinâmicos, com dimensões que diferem dos retículos da malha de cálculo como, por exemplo, a tubulação com espessura de 51 mm, os queimadores interno e externo foram simplificados. O queimador interno foi introduzido com um formato retangular de 1,50 m x 1,20 m e o queimador externo foi introduzido com dimensões de 1,63 m x 0,16 m. Os respectivos queimadores foram apoiados em suportes de material inerte com a finalidade de posicioná-los nas alturas prescritas em norma, conforme observado na Figura 20.

Figura 20 – Perspectiva do posicionamento dos queimadores



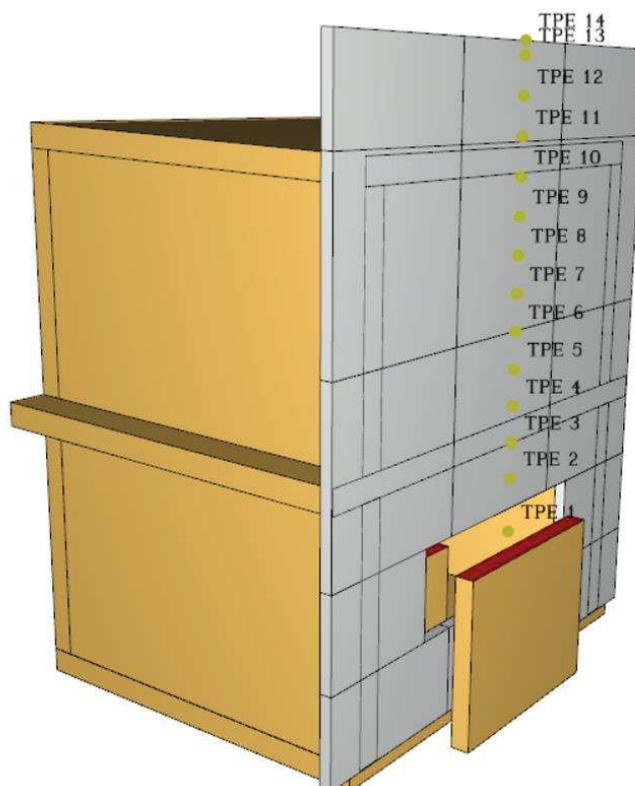
Fonte: Elaborada pelo autor.

Os 14 termopares do tipo K foram nomeados, neste trabalho, TPE 1 a 14. Com espessura de 0,81 mm, esses foram posicionados no eixo vertical da face externa da parede de calibração. As alturas dos termopares são: TPE 1, 1.371,6 mm acima do piso da sala de teste; TPE 2, 457,61 mm acima do TPE 1; TPE 3, 304,01 mm acima do TPE 2 enquanto os demais foram espaçados, sucessivamente, 304,01 mm acima do termopar anterior.

Na face interna da parede de calibração foram posicionados mais 3 termopares do tipo K com espessura de 1,02 mm, chamados de TPI 1 a 3. O TPI 1 foi posicionado no centro do eixo horizontal, 305 mm acima da face superior da abertura da parede de calibração e os TPIs 2 e 3 foram localizados em lados opostos, distanciados 610 mm do TPI 1.

A parede de calibração foi posicionada na frente das salas de teste e observação de modo a cobrir, inteiramente, esses elementos. Na Figura 21 é apresentado o posicionamento da parede de calibração e os termopares externos.

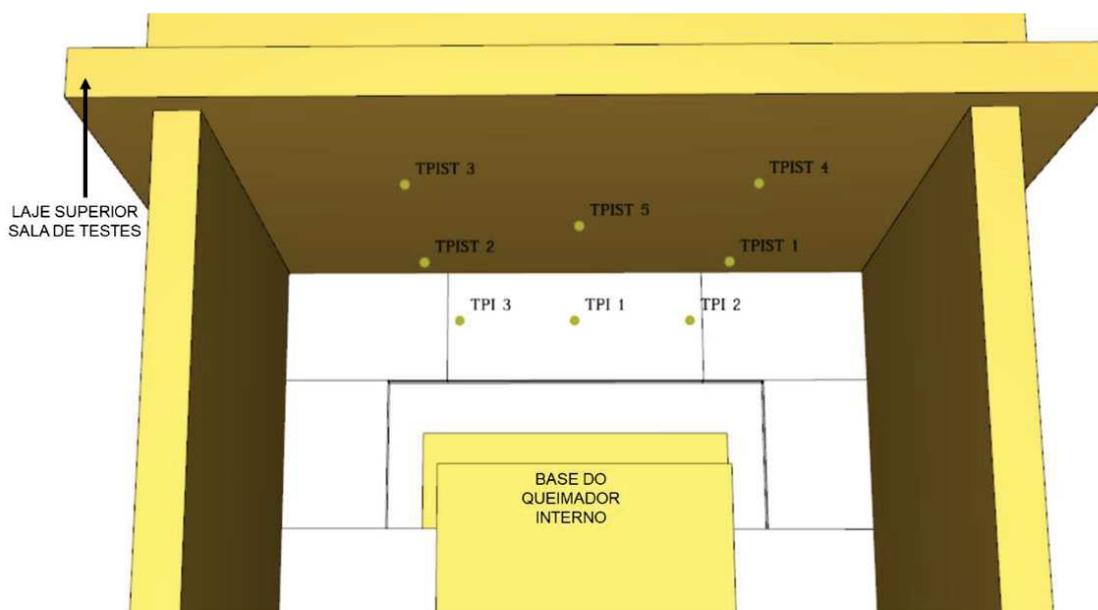
Figura 21 – Parede de calibração posicionada em frente ao equipamento de ensaio



Fonte: Elaborada pelo autor.

A sala de teste possui 5 termopares do tipo K, chamados de TPIST de 1 a 5, com espessura de 1,02 mm, dispostos simetricamente na face inferior da laje da sala de observação. Na Figura 22 observa-se o posicionamento dos termopares da laje superior da sala de teste e os termopares TPI 1 a 3.

Figura 22 – Vista interna sala de teste



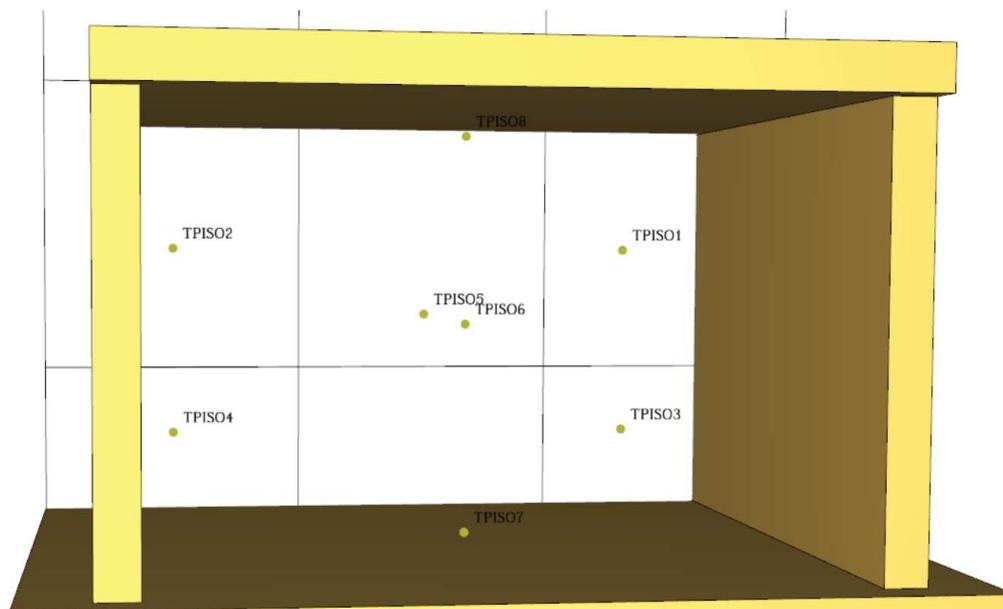
Fonte: Elaborada pelo autor.

Além dos termopares citados anteriormente, na sala de observação, foram acrescentados mais 5 termopares tipo K, acima da face superior da laje da sala de observação e dispostos simetricamente pela área da face, com espessura de 1,02 mm, na face interna da fachada cortina, denominados TPISO 1 a 5.

No centro da sala de observação foram instalados mais 3 termopares tipo K, com espessura de 1,02 mm, ao longo do eixo Y, sendo um no piso da sala, outro no centroide da sala e o terceiro no centro da face inferior da laje de cobertura, denominados termopares TPISO 6 a 8. Na Figura 23 é apresentado o posicionamento dos termopares instalados na sala de observação.

A área da malha de cálculo foi definida a partir das dimensões do aparelho de ensaio, sendo estendida 2,00 m além da fachada na parte frontal e estendida 0,90 cm além da laje da sala de observação na face superior. Em toda a extensão das faces da área da malha de cálculo foram acrescentadas aberturas, simulando que o ensaio está em uma área aberta, sem influência de vento externo.

Figura 23 – Vista interna da sala de observação



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.2 PROPRIEDADES DO MODELO COMPUTACIONAL

O modelo base utilizado para a calibração, e demais simulações, foi projetado com paredes e lajes de 0,20 m, configuradas como materiais inertes de forma que não reajam ou conduzam calor durante a simulação.

Para calibração do modelo, foram inseridas placas de gesso configuradas com as propriedades térmicas definidas na NBR 15220-2 (ABNT, 2005), sendo:

- Densidade 930,00 kg/m<sup>3</sup>
- Calor específico 1,09 kJ/(kg.k)
- Condutividade 0,17 W/(m.k)
- Emissividade 0,9

As simulações ocorreram durante 30 min ininterruptos. Nesse período, foram utilizados volumes em 3 dimensões para coleta dos resultados de temperatura e visualização de chamas, com uma taxa de atualização e registro de dados de 1 s. Nos termopares, a taxa de atualização e registro das temperaturas foi de duas coletas por segundo.

As ventilações utilizadas nas áreas interna e externa são definidas pelo software como superfícies dinâmicas. Entretanto, essas foram utilizadas para representar aberturas. Logo, a pressão dinâmica foi considerada zero para todos os tempos.

O queimador interno, também projetado sobre uma superfície dinâmica, foi configurado com temperatura constante de 1.200,00°C. Entretanto, esse queimador possui uma configuração que permite a definição de uma variação de liberação de calor de acordo com o tempo. No queimador externo, que também possui uma configuração de taxa de variação de liberação de calor em função do tempo, manteve-se uma temperatura constante de 400°C. As taxas de variação de liberação de calor são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Taxa de variação de liberação de calor

<b>Queimador interno</b>		<b>Queimador externo</b>	
Tempo (s)	Taxa	Tempo (s)	Taxa
0,00	0,28	0,00	0,00
300,00	0,67	300,00	0,90
300,10	0,62	300,10	1,30
600,00	0,63	600,00	0,28
600,10	0,63	600,10	0,28
900,00	0,74	900,00	0,90
900,10	0,84	900,10	1,05
1200,00	0,87	1200,00	0,80
1200,10	0,88	1200,10	0,88
1500,00	0,89	1500,00	0,88
1500,10	0,98	1500,10	0,88
1800,00	1,00	1800,00	0,88

Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.3 CALIBRAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

A calibração da simulação foi executada com o auxílio de uma parede padrão de dimensões 5,34 x 4,06 m de altura e largura, respectivamente, composta na face externa por duas camadas de placa de gesso tipo RF (resistente ao fogo), com espessura de 15,9 mm cada e face interna com a mesma composição. Um espaçamento de 63,5 mm foi inserido entre cada face que corresponde a largura do montante metálico interno. Essa montagem está de acordo com as definições da *Gypsum Association (GA) WP 1548 (GA, 2009)*. A parede de calibração possui uma abertura, com largura e altura de 1.981,20 x 762,00 mm, localizada no centro do eixo horizontal, a 813,00 mm de altura contados a partir da base da parede.

A calibração da simulação teve duração de 30 min e considerou como parâmetro as temperaturas apresentadas no Tabela 1. Não foi possível utilizar os sensores de fluxo de calor na calibração, pois a aplicação de materiais inertes no modelo impede a medição correta desse dado. Ressalta-se que o queimador externo é acionado 5 min após o início da calibração.

Conforme citado, a definição das dimensões das células da malha tem uma dependência com a taxa de liberação de calor máxima estimada no queimador. Considerando que não foi possível determinar uma taxa liberação de calor inicial correta, o processo foi iniciado utilizando uma malha com células de dimensões aproximadas de 0,20 m x 0,17 m x 0,17 m. O índice de compacidade apresentado por esse arranjo não foi o ideal, apresentando valores de 1,20 para o eixo X, 1,00 para o eixo Y, 1,02 para o eixo Z, totalizando uma malha com 18.600,00 células e um tempo de processamento estimado em 2,5 horas.

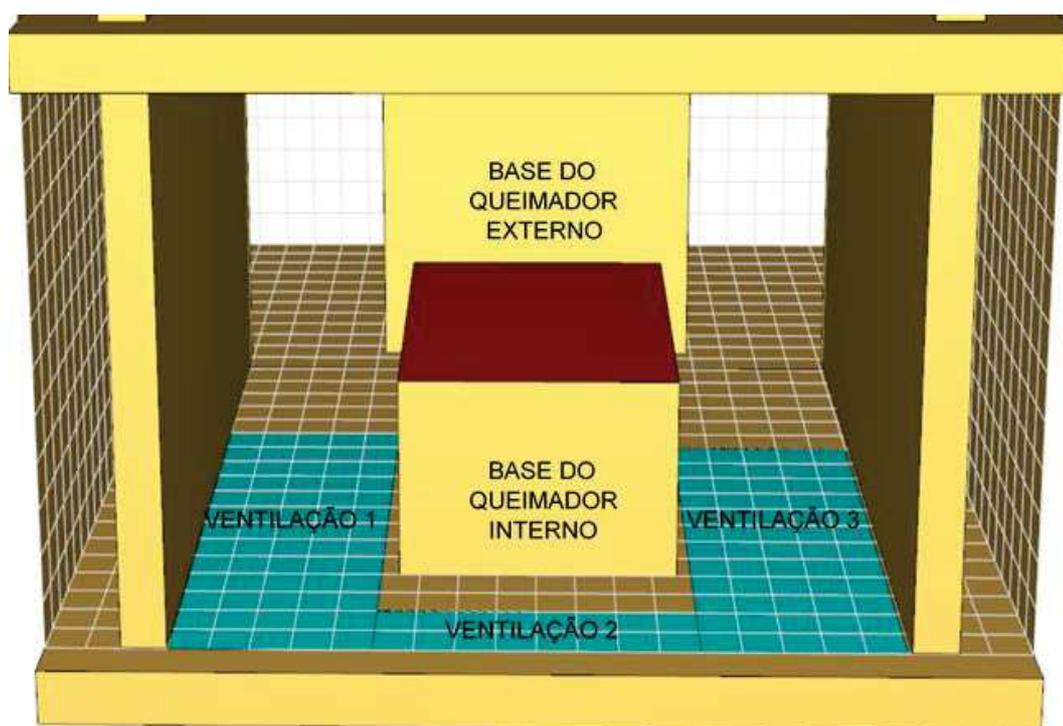
Foram executadas em torno de 350 simulações com a malha inicial até obterem-se os ajustes nos valores de taxa de liberação de calor e temperatura dos queimadores, conforme os valores médios de temperatura em função do tempo, indicados na Tabela 1. A partir dessa aproximação, definiu-se uma taxa de liberação de calor ideal por unidade de área (HRRPUA – *Heat Release Rate Per Unit Area*) de 2.000,00 kW/m<sup>2</sup>, totalizando uma taxa de liberação total de calor (HRR – *Heat Release Rate*) de aproximadamente 3665,00 kW/m<sup>2</sup> e temperatura de superfície constante de 1.200,00 °C para o queimador interno. O queimador externo foi definido com um HRRPUA de 400 kW/m<sup>2</sup>, totalizando uma HRR de 106 kW/m<sup>2</sup> e temperatura de superfície constante de 300 °C.

A partir desses dados, foi determinado o HRR máximo envolvido na simulação, que é igual a 3770,00 kW/m<sup>2</sup>. Ao aplicar a Equação 3, obteve-se como retorno um valor  $D^* = 1,63$ . Seguindo o indicado por Thunderhead Engineering (2020) e NCR (2012), para uma malha média, tem-se  $D^*/10 = 0,163$  m como dimensão característica das células. Esse valor foi aplicado, mas devido as dimensões da malha de cálculo, o índice de compacidade do número de células nos eixos X, Y e Z não foi satisfatório. O valor que melhor se adequou às dimensões da malha foi 0,17 m, gerando uma malha com 22.302 células, índice de compacidade 1 para X, 1 para Y e 1,02 para Z e tempo de processamento estimado em aproximadamente 4 horas.

Após a definição da HRR dos queimadores e as dimensões das células da malha de cálculo, iniciou-se o processo de calibração final, que se baseou na variação

de HRR dos queimadores de acordo com o tempo. Durante o processo de calibração final, observou-se uma instabilidade nas temperaturas quando a simulação alcançava os 15 min. Os termopares de calibração TPIE 2 a 7 alcançavam médias de temperaturas muito superiores as apresentadas no Tabela 1, o fenômeno observado foi um aumento de pressão repentino, o que fez com que as chamas se ejetassem pela abertura da parede com maior energia do que o desejado. Visando diminuir a pressão interna da sala foram acrescentadas ventilações dentro da sala de teste. Foram testadas diversas geometrias, tamanhos e posições de ventilações, sendo executadas em torno de 250 simulações. O melhor arranjo obtido foi a partir do acréscimo de três ventilações distintas com pressão igual ao ambiente. Na Figura 24 é apresentado o posicionamento das ventilações citadas.

Figura 24 – Vista interna sala de testes / ventilações



Fonte: Elaborada pelo autor.

A instalação das ventilações permitiu um melhor controle das pressões dentro da sala de testes durante a calibração, obtendo um resultado próximo da calibração ideal do ensaio. Na Tabela 3, são apresentadas as médias de temperaturas alcançadas em cada intervalo de aferição da calibração.

Tabela 3 – Médias de temperaturas alcançadas na calibração final

	Temperaturas médias alcançadas na simulação de calibração °C					
	0-5 (min)	5-10 (min)	10-15 (min)	15-20 (min)	20-25 (min)	25-30 (min)
TPIST 1 a 5	687	689	722	725	723	714
TPI 1 a 3	634	800	835	868	883	884
TPE 2	339	463	533	572	621	641
TPE 3	328	457	532	573	624	643
TPE 4	323	454	529	568	619	637
TPE 5	309	445	511	553	601	618
TPE 6	287	428	490	531	578	592
TPE 7	262	405	462	505	540	564

Fonte: Elaborada pelo autor.

A norma ASTM E2307 (2020) considera o ensaio calibrado quando as temperaturas alcançadas não variam mais ou menos 10% das temperaturas de referência listadas na Tabela 1. Não foi possível atender esse requisito em todos os 14 termopares de calibração, em todos os instantes. Na Tabela 4 são apresentadas as porcentagens de atendimento aos requisitos exigidos.

Tabela 4 – Porcentagens alcançadas em relação aos valores referência

Porcentagens alcançadas na simulação de calibração em relação aos valores referência						
	0-5 (min)	5-10 (min)	10-15 (min)	15-20 (min)	20-25 (min)	25-30 (min)
TPIST 1 a 5	110%	94%	90%	83%	83%	80%
TPI 1 a 3	110%	114%	107%	101%	103%	98%
TPE 2	107%	99%	104%	107%	110%	110%
TPE 3	91%	84%	88%	90%	93%	92%
TPE 4	95%	87%	90%	90%	92%	90%
TPE 5	102%	97%	97%	96%	98%	93%
TPE 6	105%	105%	105%	104%	107%	99%
TPE 7	107%	111%	110%	110%	110%	104%

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados dos termopares em relação aos instantes da calibração e os valores em porcentagem que superaram o limite inferior ou superior de calibração, conforme determinado pelo ensaio.

Tabela 5 – Porcentagens que excederam além do limite de calibração de +/- 10%

	Porcentagens que excederam além do limite de calibração de +/- 10%					
	0-5 (min)	5-10 (min)	10-15 (min)	15-20 (min)	20-25 (min)	25-30 (min)
TPIST 1 a 5	-	-	-	-7%	-7%	-10%
TPI 1 a 3	-	4%	-	-	-	-
TPE 2	-	-	-	-	-	-
TPE 3	-	-6%	-2%	-	-	-
TPE 4	-	-3%	-	-	-	-
TPE 5	-	-	-	-	-	-
TPE 6	-	-	-	-	-	-
TPE 7	-	1%	-	-	-	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

O não atendimento de todas as temperaturas necessárias (Quadros 5, 7 e 8) pode estar relacionado com a presença de materiais inertes, simplificação dos queimadores, geometria das ventilações internas ou taxa de liberação de calor inadequada nos queimadores. No entanto, dentro das limitações impostas para o desenvolvimento do modelo, a aceitação destas variações foi condicionada a validação do modelo computacional, conforme apresentado no item a seguir.

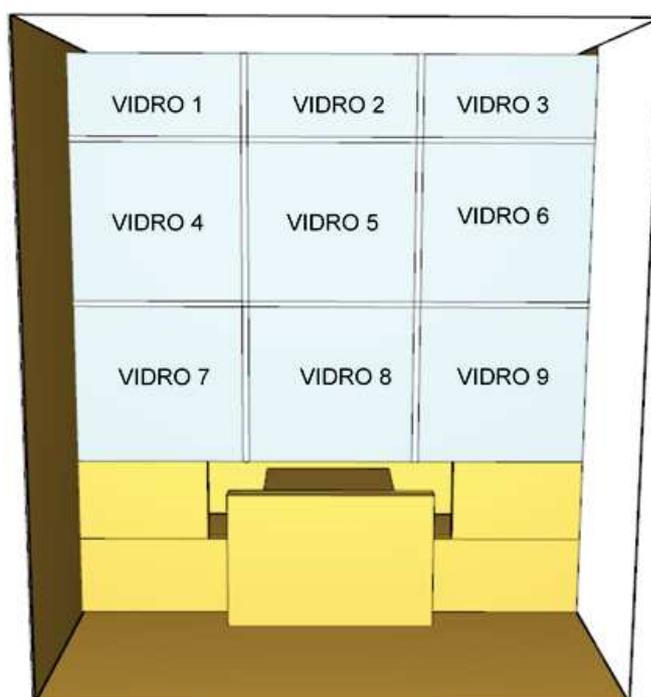
### 3.4 VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

O Modelo Referência foi construído com base na aplicação da fachada cortina padrão para todos os modelos que mantêm as mesmas medidas perimetrais da parede de calibração. Esse foi introduzido no software com montantes de alumínio de 50 mm de largura e módulos com dimensões externas de 1,30 m x 1,50 m de largura e altura, totalizando 9 módulos. Esses módulos seguiram as dimensões da fachada de calibração com o intuito de aproximá-las o máximo possível da fachada utilizada para calibração. Os vidros foram introduzidos utilizando como base os parâmetros de um vidro composto de vidro *float* 6 mm, encaixilhados nas 4 bordas. As características térmicas dos vidros também foram introduzidas conforme indicado na NBR 15220 (ABNT, 2005), sendo elas:

- a) Densidade = 2.500,00 kg/m<sup>3</sup>
- b) Calor específico = 0,84 kJ/(kg.K)
- c) Condutividade térmica = 1,0 W/(m.K)
- d) Emissividade = 0,84

O tempo de simulação foi o mesmo de calibração para todos os modelos (30 min), visto que não é conhecido o comportamento das médias das temperaturas após esse período, inviabilizando a calibração da simulação. No Modelo Referência não foi aplicado modelo algum de compartimentação, considerou-se apenas que a junta perimetral interna resistiu aos 30 min de simulação. Na Figura 25 é apresentada a fachada descrita.

Figura 25 – Vidros fachada padrão



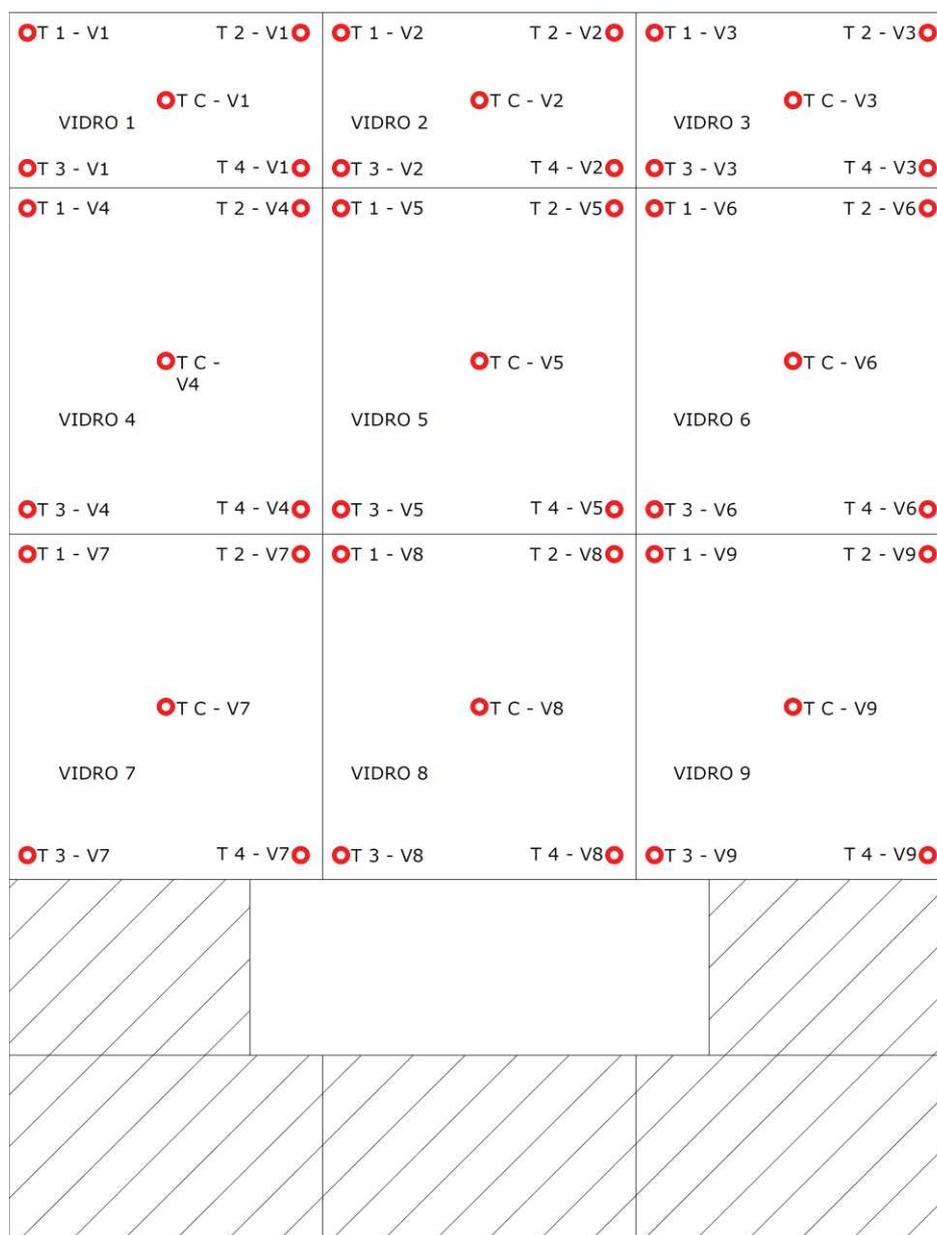
Fonte: Elaborada pelo autor.

Apesar da introdução das características térmicas dos vidros, a transferência de calor pela fachada da sala de teste para a sala de observação foi muito baixa, indicando que a simplificação de transferência de calor unidimensional realizada pelo *Pyrosim/FDS®* fornece resultados que não condiziam com a realidade para a simulação em análise.

Com vistas a aproximar a simulação da realidade, foram inseridos 45 termopares na fachada de ensaio, 5 termopares por vidro, sendo 1 no centro e outros 4 nos cantos, dispostos simetricamente. A finalidade foi medir a diferença de temperatura entre os 5 termopares de cada vidro e aplicar o relatado por Wang *et al.* (2014), no qual um vidro com as características listadas falha quando ocorre uma diferença de temperatura de 152°C em sua face. Esse parâmetro foi introduzido no

software como um controle que desativa o módulo do vidro quando a temperatura atinge essa condição, fazendo com que o módulo de vidro desapareça, aproximando de um mecanismo de falha durante uma situação de incêndio. Esse mecanismo de falha foi aplicado a todas as simulações subsequentes. Na Figura 26 é apresentado o posicionamento dos termopares.

Figura 26 – Termopares vidros



Fonte: Elaborada pelo autor.

O comportamento das temperaturas e dinâmica do fogo foram validados a partir dos resultados da calibração de um ensaio real e após a introdução do mecanismo de falha dos elementos envidraçados e os resultados de conformidade obtidos

convergir para os que seriam obtidos em um ensaio real. No Apêndice A é apresentado o código de programação utilizado na configuração do *Pyrosim/FDS*®, o que permite a execução de outras simulações considerando a mesma configuração da simulação apresentada, já que a atual dentro de suas limitações é capaz de retornar resultados que aproximam a realidade do fenômeno.

## 4 ESTUDO PARAMÉTRICO

A partir do modelo de simulação computacional desenvolvido foram realizadas 7 simulações para analisar a influência de determinados parâmetros no comportamento de sistemas fachada cortina em situação de incêndio.

### 4.1 PARÂMETROS ANALISADOS

Dentro das limitações impostas pela variabilidade de comportamento dos materiais frente a uma situação de incêndio, o material utilizado nas projeções foi considerado inerte, permitindo isolar a variável dimensional para estudo.

Conforme apresentado no Quadro 1, não há um consenso em relação à dimensão efetivamente segura para esse tipo de compartimentação, ao passo que para o material utilizado existem definições de TRF e incombustibilidade, que podem ser validadas a partir de ensaios específicos voltados ao comportamento dos materiais frente ao fogo.

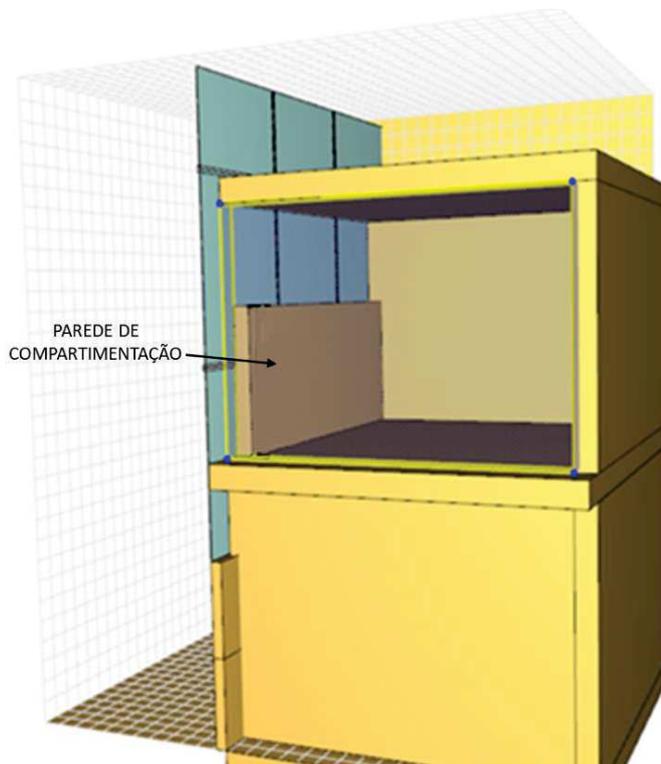
Nas projeções horizontais utilizou-se a dimensão de 0,90 m conforme a IT 09/2019 (SÃO PAULO, 2019e). Essa mesma dimensão foi sendo reduzida para 0,60 m e 0,40 m, objetivando uma comparação com a simulação executada por Nilsson et al (2018). Nas projeções verticais foi utilizada a dimensão prescrita na IT 09/2019 (SÃO PAULO, 2019e) de 1,20 m. Posteriormente, essa dimensão foi sendo reduzida para 1,00 m, 0,90 m e 0,60 m. Ressalta-se que, nesse caso, a redução de dimensão não ocorreu de forma linear, pois os resultados de conformidade obtidos para 0,90 m e 0,60 m foram próximos, indicando que as medidas entre esses valores retornariam para resultados próximos.

#### 4.1.1 Modelos de Compartimentação com Projeção Vertical

Nesses modelos foram introduzidas paredes de material inerte, atrás da fachada padrão do modelo, com 1,20 m (Modelo 1), 1,00 m (Modelo 2), 0,90 m (Modelo 3), 0,60 m (Modelo 4) de altura e 3,05 m de largura. A estrutura do Modelo 1 atende a exigência da IT nº 09/2019 (SÃO PAULO, 2019e); as demais não atendem. Atrás dessa parede estão os 5 termopares tipo K, denominados TPISO 1 a 5 enquanto

os demais termopares permanecem em suas respectivas posições. Na Figura 27 é apresentado o modelo de simulação descrito.

Figura 27 – Compartimentação com parede vertical

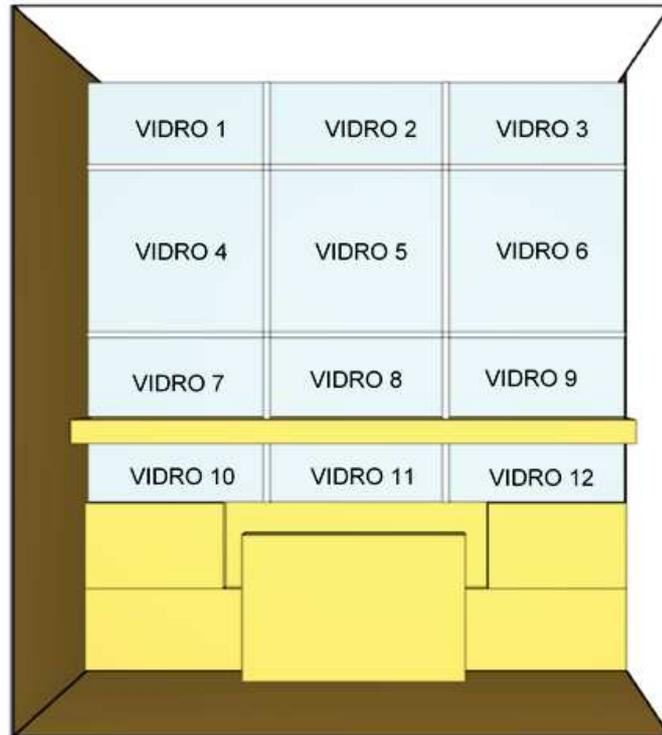


Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.1.2 Modelos de Compartimentação com Projeção Horizontal

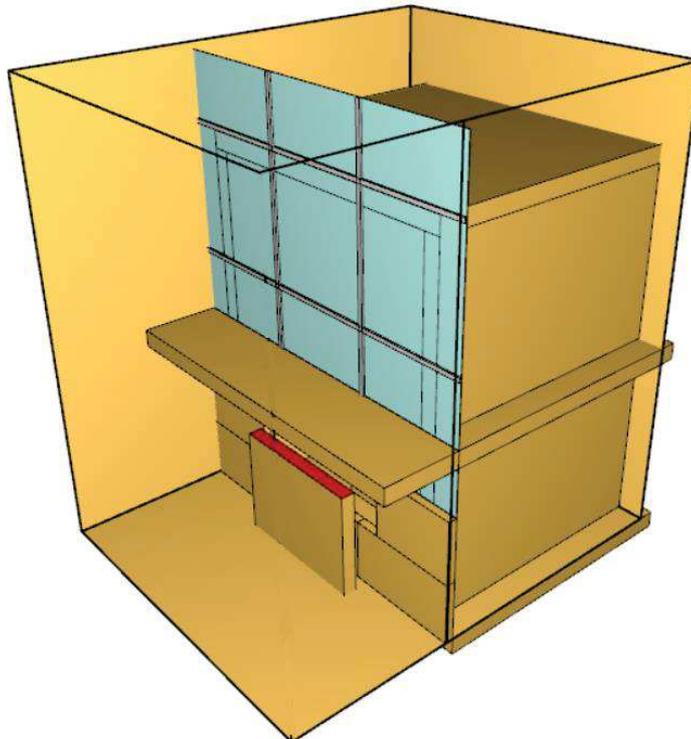
Nesses modelos foram introduzidos prolongamentos da laje, de material inerte, com 0,90 m (Modelo 5), 0,60 m (Modelo 6) e 0,40 m (Modelo 7) de dimensão, além da fachada padrão de ensaio. O Modelo 5 atende a exigência da IT nº 09/2019 (SÃO PAULO, 2019e), os demais não. O termopar TPE 3 foi desconsiderado nesse modelo devido a sua posição estar conflitando com o prolongamento aplicado. Os demais termopares permaneceram em suas respectivas posições. Outra mudança realizada nos modelos com prolongamento horizontal foi divisão dos módulos de vidro 7, 8 e 9 em duas partes cada um, originando os módulos 10, 11 e 12. A sistemática de colocação de termopares para medir a diferença de temperatura manteve-se a mesma, totalizando 60 termopares aplicados nos modelos de vidro. Na Figura 28 e Figura 29 observa-se o modelo de simulação descrito.

Figura 28 – Vidros fachada projeção horizontal



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 29 – Compartimentação com projeção horizontal de 0,90 m



Fonte: Elaborada pelo autor.

## 4.2 ANÁLISE DE FALHA E CONFORMIDADE

Antes da simulação final de cada um dos 8 modelos, foram executadas simulações preliminares objetivando coleta de dados relativos a falha dos vidros, visando uma posterior aplicação junto aos modelos finais. Na Tabela 6 são apresentados os tempos de falha de cada módulo de vidro durante as simulações.

Tabela 6 – Tempos de falha dos vidros

	Tempo de falha (min)											
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12
MR	15	4	15,26	6,86	2,42	8,15	0,3	0,3	0,3	x	x	x
M1	15	4	15,26	6,86	2,42	8,15	0,3	0,3	0,3	x	x	x
M2	15	4	15,26	6,86	2,42	8,15	0,3	0,3	0,3	x	x	x
M3	15	4	15,26	6,86	2,42	8,15	0,3	0,3	0,3	x	x	x
M4	15	4	15,26	6,86	2,42	8,15	0,3	0,3	0,3	x	x	x
M5	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	0,13	0,13	0,13
M6	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	0,13	0,13	0,13
M7	25,5	20,72	25,5	16,62	20,72	20,72	22,06	22,06	22,06	0,13	0,13	0,13

MR: Modelo Referência (não possui prolongamento horizontal nem vertical); M1: Modelo 1 (projeção vertical de 1,20m); M2: Modelo 2 (projeção vertical de 1,00m); M3: Modelo 3 (projeção vertical de 0,90m); M4: Modelo 4 (projeção vertical de 0,60m); M5: Modelo 5 (prolongamento horizontal 0,90m); M6: Modelo 6 (prolongamento horizontal 0,60m); M7: Modelo 7 (prolongamento horizontal 0,40m); NF: não falha; V: vidro.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A análise de tempo de falha do Modelo Referência foi a mesma utilizada para os Modelos 1, 2, 3 e 4, pois a geometria externa da fachada não se alterou e o processo de falha se deu pela variação de temperatura aplicada na face externa da fachada. Esses modelos apresentaram os menores tempos falha, o que se deve a configuração da compartimentação. Nos Modelos 5 e 6, dentro dos 30 min de simulação, não houve falha dos vidros localizados acima da projeção horizontal. No Modelo 6 as falhas, de modo geral, ocorreram após os 20 min de simulação.

As condições de conformidade consideradas nas simulações são: os termopares TPISO 1 a 5 não podem superar 180°C a mais da temperatura inicial e a sua média não pode ultrapassar 139°C. Além destes critérios, foram avaliadas a altura máxima das chamas além da laje que divide a sala de observação e a sala de teste. De forma visual o desenvolvimento dos gases quentes, com a captura de imagens nos instantes 10 min e 30 min. Foram também avaliadas as temperaturas médias e

máximas dos termopares TPISO 6 a 8, objetivando a medição do desenvolvimento das temperaturas dentro da sala de observação. Outro aspecto avaliado foram as temperaturas médias alcançadas nos termopares TPE 4 a 14, durante os 30 min de simulação, com vistas a medição da evolução das temperaturas nos diferentes modelos de compartimentação.

### 4.3 ANÁLISE DE RESULTADOS

As 8 simulações foram realizadas visando a obtenção dos valores de temperatura dos termopares presentes na sala de observação, na face da fachada e a observância do comportamento das chamas e dos gases quentes.

#### 4.3.1 Análise de Conformidade e Temperaturas na Sala de Observação

No Quadro 6, observam-se os resultados referentes a conformidade.

Quadro 6 – Resultados de conformidade

	Condição		Tempo (min)
	Temperatura >180°C	Média >139°C	
Modelo referência	212°C / TPISO5	não falha	7
Modelo 1	não falha	não falha	30
Modelo 2	não falha	não falha	30
Modelo 3	201°C / TPISO 5	não falha	20,7
Modelo 4	212°C / TPISO5	não falha	7
Modelo 5	não falha	não falha	30
Modelo 6	não falha	não falha	30
Modelo 7	225°C / TPISO5	não falha	26,33

Modelo Referência (não possui prolongamento horizontal nem vertical); Modelo 1 (projeção vertical de 1,20 m); Modelo 2 (projeção vertical de 1,00 m); Modelo 3 (projeção vertical de 0,90 m); Modelo 4 (projeção vertical de 0,60 m); Modelo 5 (prolongamento horizontal 0,90 m); Modelo 6 (prolongamento horizontal 0,60 m); Modelo 7 (prolongamento horizontal 0,40 m).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Tabela 7 e Gráfico 3 observam-se as temperaturas médias no centro da sala, na Tabela 8 são apresentadas as temperaturas máximas dos termopares TPISO

6 a 8 e no Gráfico 4 observam-se a médias das temperaturas máximas, durante os 30 min de simulação.

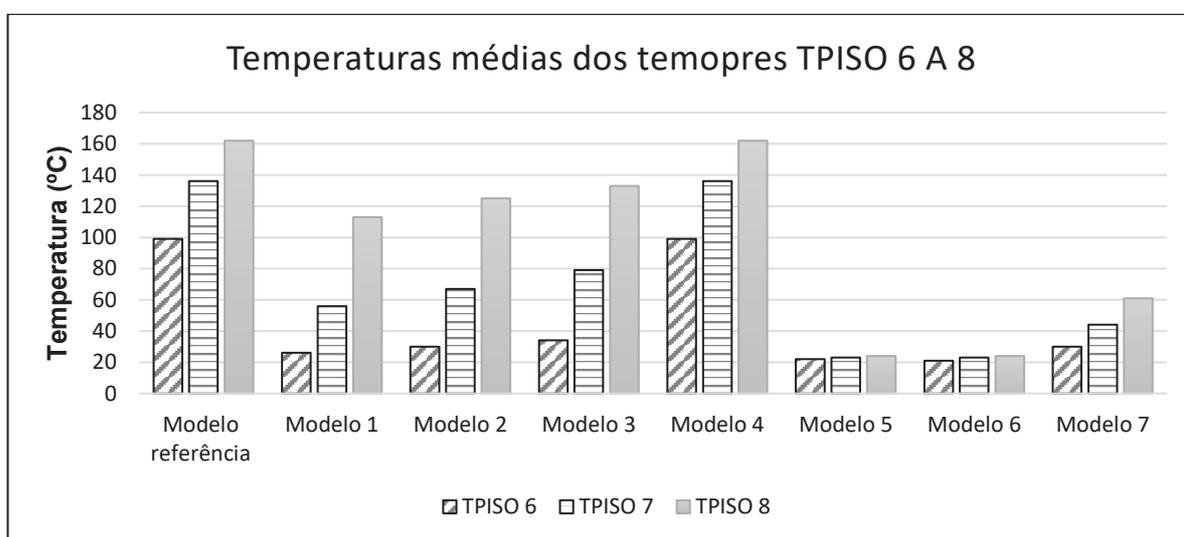
Tabela 7 – Temperaturas médias

	Temperatura média (°C)			Tempo (min)
	TPISO 6	TPISO 7	TPISO 8	
Modelo referência	99	136	162	30
Modelo 1	26	56	113	30
Modelo 2	30	67	125	30
Modelo 3	34	79	133	30
Modelo 4	99	136	162	30
Modelo 5	22	23	24	30
Modelo 6	21	23	24	30
Modelo 7	30	44	61	30

Modelo Referência (não possui prolongamento horizontal nem vertical); Modelo 1 (projeção vertical de 1,20 m); Modelo 2 (projeção vertical de 1,00 m); Modelo 3 (projeção vertical de 0,90 m); Modelo 4 (projeção vertical de 0,60 m); Modelo 5 (prolongamento horizontal 0,90 m); Modelo 6 (prolongamento horizontal 0,60 m); Modelo 7 (prolongamento horizontal 0,40 m).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Gráfico 3 – Temperaturas médias dos Termopares TPISO 6 a 8



Modelo Referência (não possui prolongamento horizontal nem vertical); Modelo 1 (projeção vertical de 1,20 m); Modelo 2 (projeção vertical de 1,00 m); Modelo 3 (projeção vertical de 0,90 m); Modelo 4 (projeção vertical de 0,60 m); Modelo 5 (prolongamento horizontal 0,90 m); Modelo 6 (prolongamento horizontal 0,60 m); Modelo 7 (prolongamento horizontal 0,40 m).

Fonte: Elaborado pelo autor.

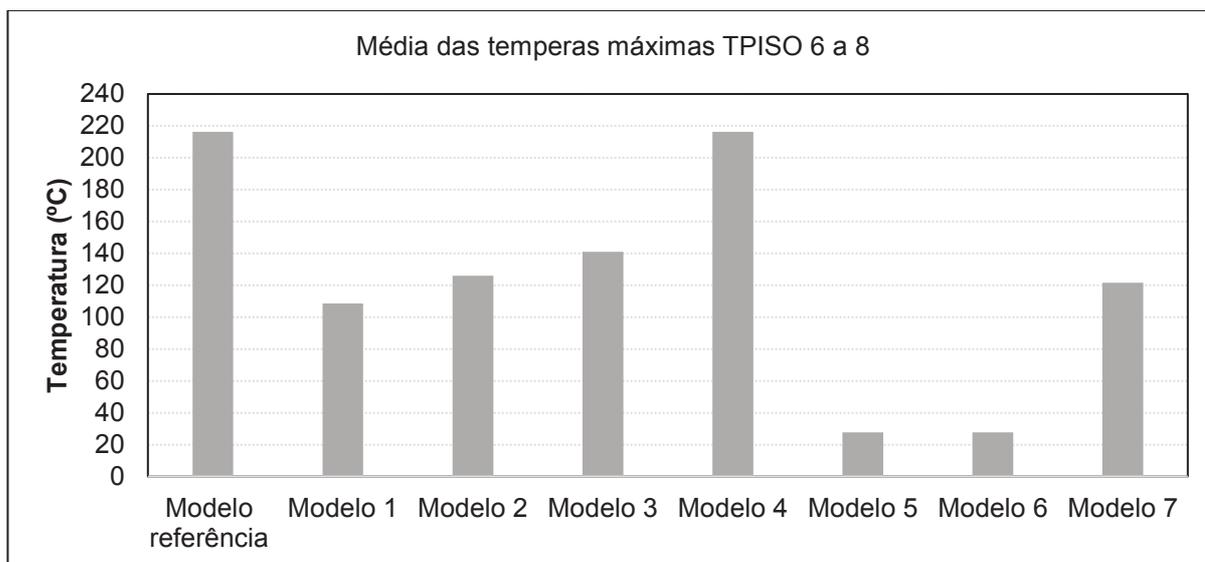
Tabela 8 – Temperaturas máximas

	Temperatura máxima (°C)		
	TPISO 6	TPISO 7	TPISO 8
Modelo referência	184	209	256
Modelo 1	35	95	196
Modelo 2	41	112	225
Modelo 3	54	135	234
Modelo 4	184	209	256
Modelo 5	25	28	30
Modelo 6	25	28	30
Modelo 7	61	128	176

Modelo Referência (não possui prolongamento horizontal nem vertical); Modelo 1 (projeção vertical de 1,20 m); Modelo 2 (projeção vertical de 1,00 m); Modelo 3 (projeção vertical de 0,90 m); Modelo 4 (projeção vertical de 0,60 m); Modelo 5 (prolongamento horizontal 0,90 m); Modelo 6 (prolongamento horizontal 0,60 m); Modelo 7 (prolongamento horizontal 0,40 m).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Gráfico 4 – Média das temperaturas máximas dos TPISO 6 a 8



Modelo Referência (não possui prolongamento horizontal nem vertical); Modelo 1 (projeção vertical de 1,20 m); Modelo 2 (projeção vertical de 1,00 m); Modelo 3 (projeção vertical de 0,90 m); Modelo 4 (projeção vertical de 0,60 m); Modelo 5 (prolongamento horizontal 0,90 m); Modelo 6 (prolongamento horizontal 0,60 m); Modelo 7 (prolongamento horizontal 0,40 m).

Fonte: Elaborada pelo autor.

O Modelo Referência não possui medida de compartimentação além da junta perimetral entre a fachada e a laje. Por isso, após a falha dos elementos envidraçados, as chamas e as altas temperaturas chegam à sala de observação, demonstrando a perda de compartimentação vertical em aproximadamente 7 min. Esse mesmo resultado também foi obtido para o Modelo 4, indicando a ineficácia de uma projeção vertical com dimensão de 0,60 m. Nesses dois casos, as temperaturas médias e máximas medidas no centro da sala de observação foram iguais, reforçando a ineficácia citada. A perda de compartimentação do Modelo 4 ocorreu mais tardiamente, entretanto, não foi aprovado no critério de conformidade do ensaio.

Nos Modelos 1, 2, 5 e 6 os requisitos mínimos de segurança foram atendidos. Entretanto, no Modelo 1 a temperatura máxima do termopar TPISO 8 se aproximou de 200°C e no Modelo 2 alcançou 225°C, enquanto nos Modelos 5 e 6 foram aproximadamente 30°C, indicando que as projeções horizontais demonstraram uma maior eficácia em impedir o aumento de temperatura no interior da sala de observação. Cabe ressaltar que a projeção horizontal utilizada no Modelo 4 tem 50% da dimensão da projeção vertical utilizada no Modelo 1.

O Modelo 7 apresentou falha no requisito de temperatura máxima nos termopares TPISO 1 a 5 aos 26 min de simulação, aproximadamente. Entretanto, a temperatura máxima e as temperaturas médias no interior da sala de observação ficaram abaixo se comparado ao Modelo 1, demonstrando que projeções horizontais, com 33% da dimensão da projeção vertical, podem retornar resultados superiores.

No comparativo entre compartimentações verticais, é possível observar que o Modelo 1 e o Modelo 2 tiveram resultados satisfatórios apesar da diferença de dimensão vertical.

Quando comparamos o Modelo 1 em relação ao Modelo 2, as médias das temperaturas e as temperaturas máximas dentro da sala de observação, no Modelo 2 são, em média 13% e 19% superiores, respectivamente, demonstrando uma proximidade nos resultados obtidos. Ressalta-se que os dois modelos citados foram aprovados nos requisitos de segurança observados. Em relação as normas estrangeiras, uma projeção vertical de 1,0 m é aceita na Austrália, Finlândia, França, Hong Kong e Estados Unidos da América, conforme Quadro 1.

Quando os resultados obtidos são confrontados com as exigências das normas brasileiras podemos indicar, dentro das limitações impostas, que as dimensões previstas em norma são seguras. Entretanto, no caso das projeções horizontais, uma

projeção 0,90 m pode ser tratada como uma medida de isolamento de risco e uma projeção de 0,60 m pode ser considerada uma medida de compartimentação com uma eficácia maior que uma projeção vertical com dimensões que variam entre 1,0 m e 1,20 m.

Com base nos resultados das simulações realizadas, é possível indicar que uma projeção horizontal de 0,40 m apresenta uma eficácia próxima a projeção vertical de 1,20 m, dentro dos 30 min de simulação, visto que tem a capacidade de barrar chamas e diminuir as temperaturas médias e máximas alcançadas dentro da sala de observação.

A conclusão explanada acima vai de encontro ao resultado encontrado por Nilsson et al (2018), onde um recuo de 0,40 m tem a mesma eficácia do que uma projeção vertical de 1,20 m e que projeção horizontal de 0,60 m é mais eficaz que a citada projeção vertical para barrar a propagação vertical das chamas.

Quando os resultados são comparados com as normas estrangeiras, a projeção horizontal de 0,60 m atende as exigências impostas por Hong Kong, Nova Zelândia e França, conforme apresentado no Quadro 1.

O resultado de não conformidade da projeção vertical de 0,90 m confirmou o relatado na NFPA 5000 (2018), que cita que uma barreira vertical de 0,95 m não é eficaz para evitar a propagação vertical de chamas em incêndios reais.

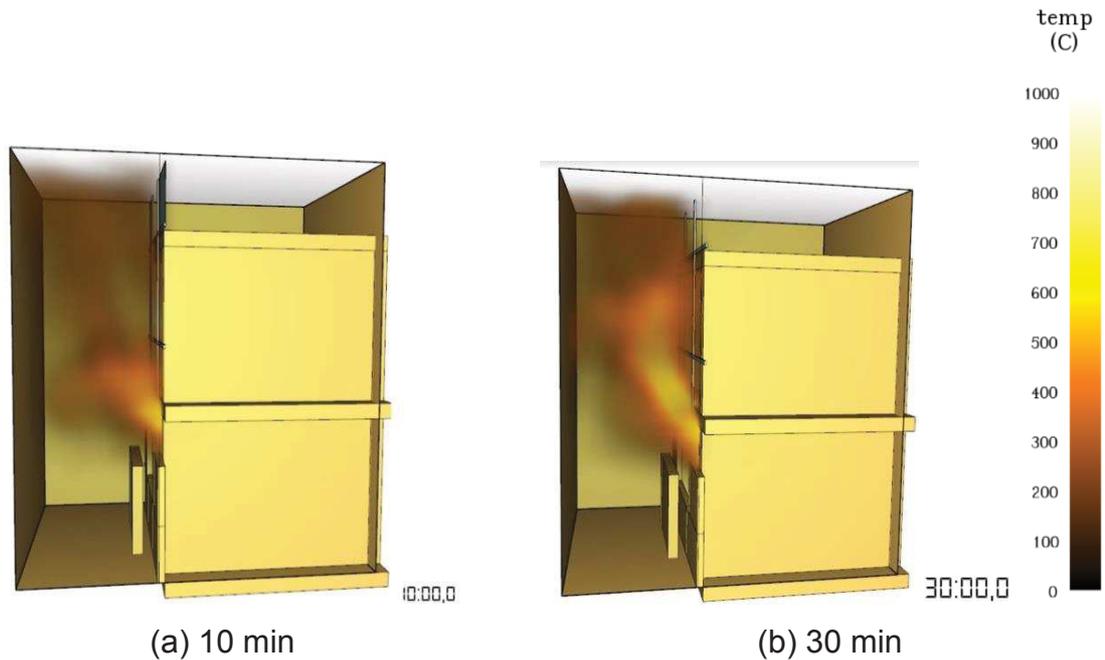
#### **4.3.2 Análise de Comportamento dos Gases Quentes e Chamas**

Com a utilização da ferramenta *Smokeview*, disponível no software *Pyrosim/FDS®*, foram geradas imagens do desenvolvimento dos gases quentes e das chamas sobre a face externa da fachada. A seguir, são apresentados os resultados para as simulações realizadas.

##### **4.3.2.1 Modelo Referência, 1, 2, 3 e 4**

Estes modelos foram reunidos pois a geometria externa e o tempo de falha dos vidros são os mesmos. Logo, o mecanismo de desenvolvimento das chamas e gases quentes na face externa da fachada é o mesmo. Na Figura 30, que representa a área externa dos modelos Referência, 1, 2, 3 e 4, observa-se o desenvolvimento dos gases quentes sobre a fachada nos instantes 10 min e 30 min.

Figura 30 – Gases quentes modelos referência, 1, 2 e 3



Fonte: Elaborada pelo autor.

Como observado na Figura 30, os gases quentes e as chamas tocam a superfície da fachada nos primeiros minutos de simulação, ocasionando a falha de todos os elementos envidraçados da fachada e permitindo a elevação acentuada das temperaturas dentro da sala de observação. Na Tabela 9, são apresentadas as médias das temperaturas dos termopares da fachada TPE 4 a 14, nos 30 min de simulação.

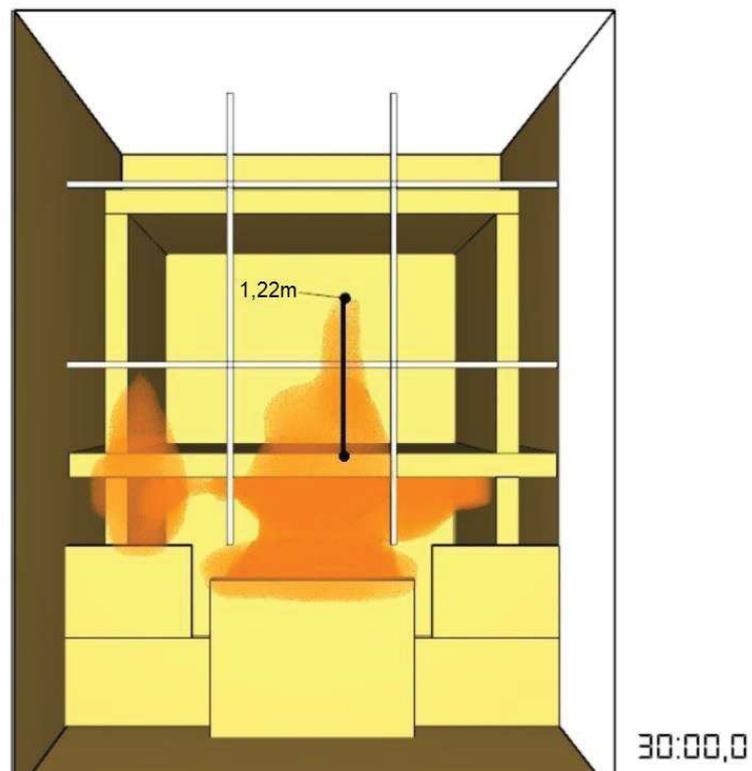
Tabela 9 – Médias das temperaturas dos TPEs 4 a 14, em 30 min

	Modelos Referência, 1, 2, 3 e 4										
Termopar	TPE 4	TPE 5	TPE 6	TPE 7	TPE 8	TPE 9	TPE 10	TPE 11	TPE 12	TPE 13	TPE 14
Média (°C)	490	324	285	258	231	221	207	198	168	168	151

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme observado na Figura 31, a altura máxima alcançada pelas chamas foi de 1,22 m acima da laje que divide os pavimentos aos 30 min da simulação.

Figura 31 – Altura máxima aproximada da chama

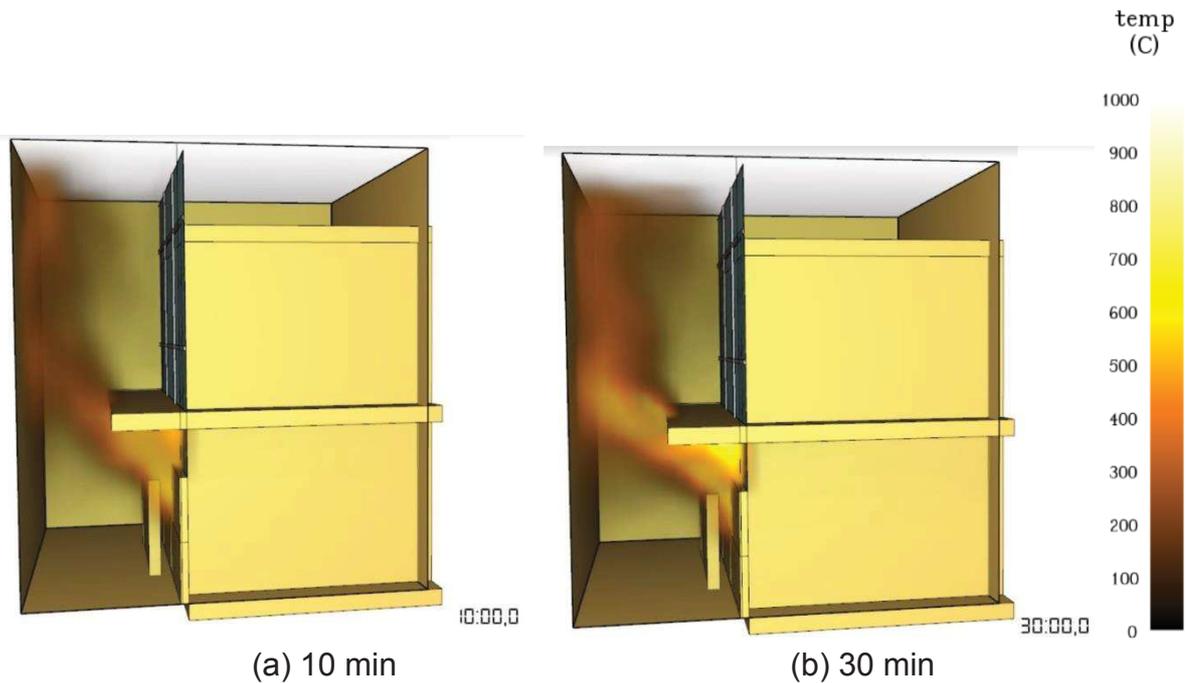


Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.3.2.2 Modelo 5

Na Figura 32, observa-se o comportamento dos gases quentes nos instantes de 10 min e 30 min, quando há uma projeção horizontal de 0,90 m além da fachada cortina.

Figura 32 – Gases quentes modelo 5



Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme apresentado na Figura 32, há a existência de fluxo de gases quentes no exterior do modelo de simulação. Todavia, não ocorre uma evolução significativa das temperaturas na face da fachada até os 30 min de simulação, pois a projeção tem a capacidade de afastar os gases quentes da mesma, mantendo uma temperatura na face que não é capaz de ocasionar a falha elementos envidraçados da fachada. Na Tabela 10 são apresentadas as médias das temperaturas dos termopares da fachada (TPE 4 a 14) nos 30 min de simulação.

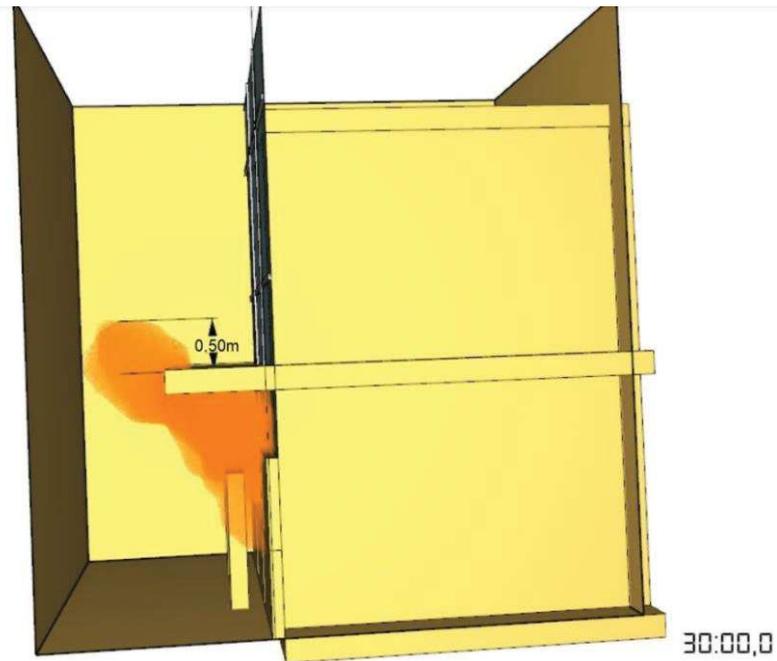
Tabela 10 – Médias das temperaturas dos TPEs 4 a 14, em 30 min

Termopar	Modelo 5										
	TPE 4	TPE 5	TPE 6	TPE 7	TPE 8	TPE 9	TPE 10	TPE 11	TPE 12	TPE 13	TPE 14
Média (°C)	24	27	33	38	42	44	46	47	47	47	45

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme representado na Figura 33, a altura máxima alcançada pelas chamas foi de aproximadamente 0,50 m acima da laje que divide os pavimentos, aos 30 min de simulação. Entretanto, devido a projeção horizontal, essa chama não tocou a face externa da fachada.

Figura 33 – Altura máxima aproximada da chama Modelo 4

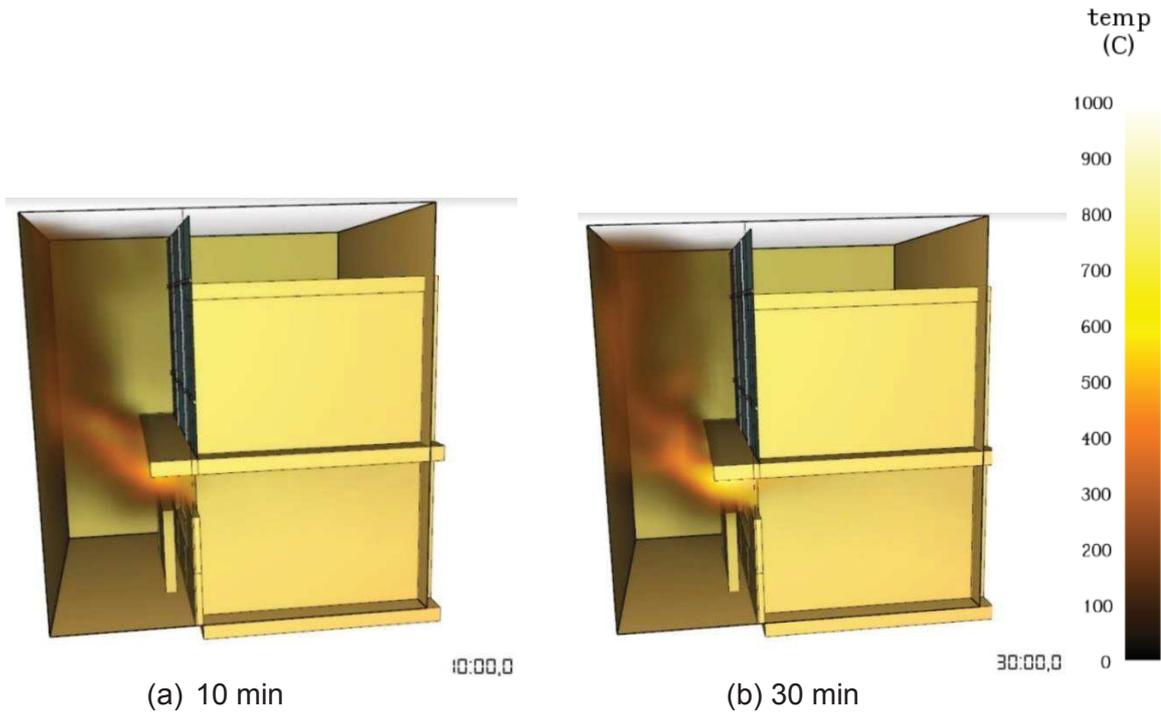


Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.3.2.3 Modelo 6

Na Figura 34, observa-se o comportamento dos gases quentes nos instantes de 10 min e 30 min, quando há uma projeção horizontal de 0,60 m além da fachada cortina.

Figura 34 – Gases quentes Modelo 6



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 34, observa-se a existência de fluxo de gases quentes no exterior do modelo de simulação. Entretanto, até os 30 min de simulação, não ocorre uma evolução significativa das temperaturas na face da fachada, pois a projeção tem a capacidade de afastar os gases quentes da mesma, mantendo uma temperatura na face que não é capaz de ocasionar a falha elementos envidraçados da fachada. Na Tabela 11 são apresentadas as médias das temperaturas dos termopares da fachada TPE 4 a 14, nos 30 min de simulação.

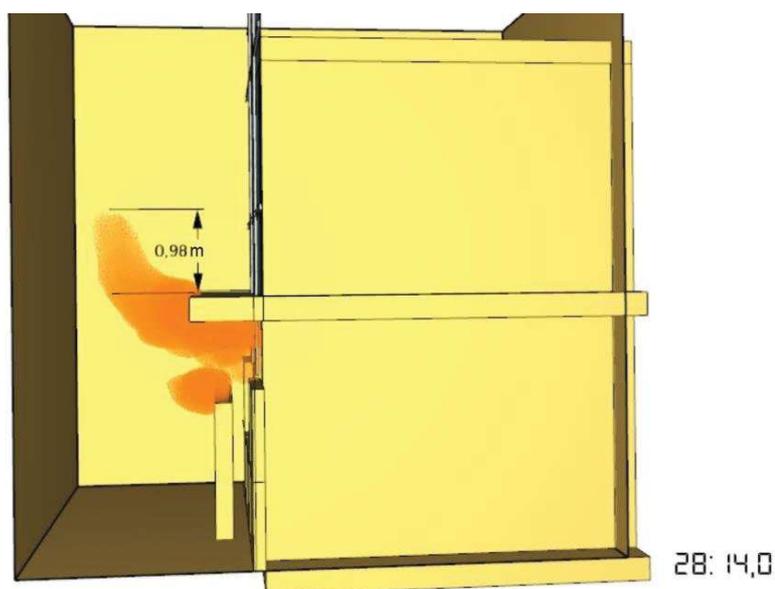
Tabela 11 – Médias das temperaturas dos TPEs 4 a 14, em 30 min

Termopar	Modelo 6										
	TPE 4	TPE 5	TPE 6	TPE 7	TPE 8	TPE 9	TPE 10	TPE 11	TPE 12	TPE 13	TPE 14
Média (°C)	25	30	39	47	54	56	60	62	61	61	59

Fonte: o autor

Conforme representado na Figura 35, a altura máxima alcançada pelas chamas foi de 0,98 m acima da laje que divide os pavimentos, e se deu aos 28 min e 14 s min de simulação. Entretanto, devido a projeção horizontal, essa chama não tocou a face externa da fachada.

Figura 35 – Altura máxima aproximada da chama Modelo 5

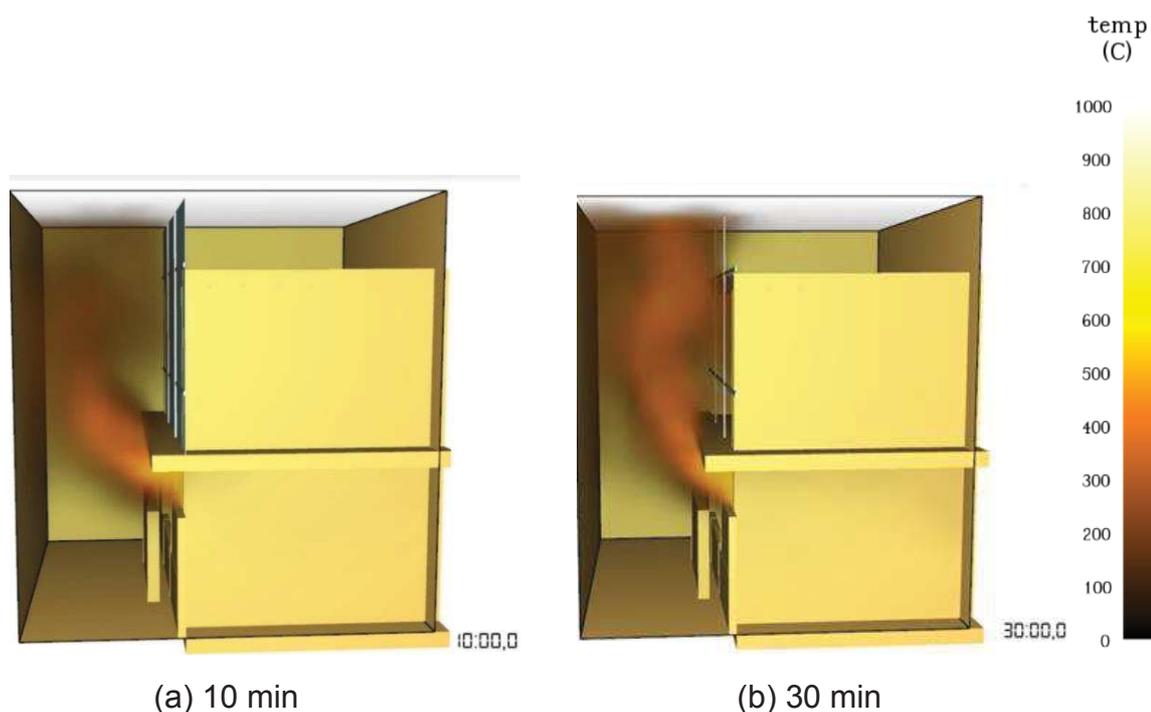


Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.3.2.4 Modelo 7

Na Figura 36, observa-se o comportamento dos gases quentes nos instantes de 10 min e 30 min quando há uma projeção horizontal de 0,40 m além da fachada cortina.

Figura 36 – Gases quentes Modelo 7



(a) 10 min

(b) 30 min

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme observado na Figura 36, há a existência de fluxo de gases quentes no exterior do modelo de simulação. Entretanto, devido a existência da projeção, a falha dos elementos envidraçados ocorre mais tardiamente que nos modelos Referência, 1, 2, 3 e 4, o primeiro elemento falhou após 16 min de simulação.

As temperaturas alcançadas na face da fachada são, em média, 49% menores em relação ao Modelo Referência e dentro da sala. Nos 30 min de simulação, as temperaturas apresentam-se em média 33% menores, pois a projeção tem a capacidade de afastar os gases quentes durante um determinado período. Na Tabela 12 são apresentadas as médias das temperaturas dos termopares da fachada TPE 4 a 14, nos 30 min de simulação.

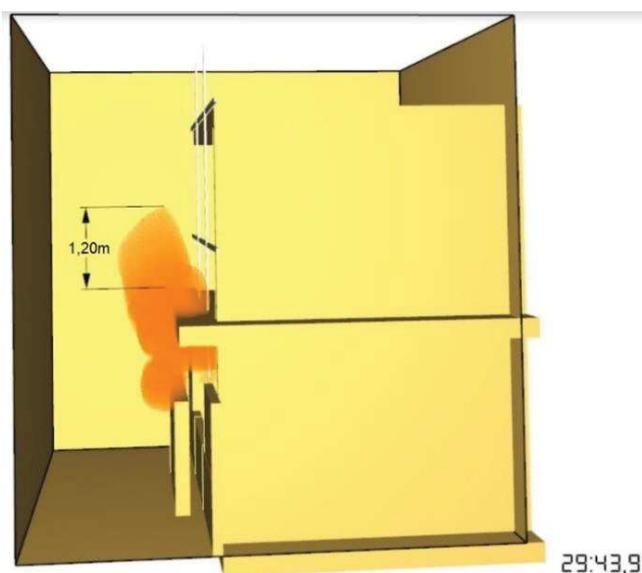
Tabela 12 – Médias das temperaturas dos TPEs 4 a 14, em 30 min

Termopar	Modelo 7										
	TPE 4	TPE 5	TPE 6	TPE 7	TPE 8	TPE 9	TPE 10	TPE 11	TPE 12	TPE 13	TPE 14
Média (°C)	63	87	106	115	118	119	122	120	116	116	114

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme apresentado na Figura 37, a altura máxima alcançada pelas chamas foi de aproximadamente 1,20 m acima da laje que divide os pavimentos, ocorrendo aos 29 min e 44 s min de simulação. Entretanto, apesar da projeção horizontal, essa chama tocou a base da face externa da fachada.

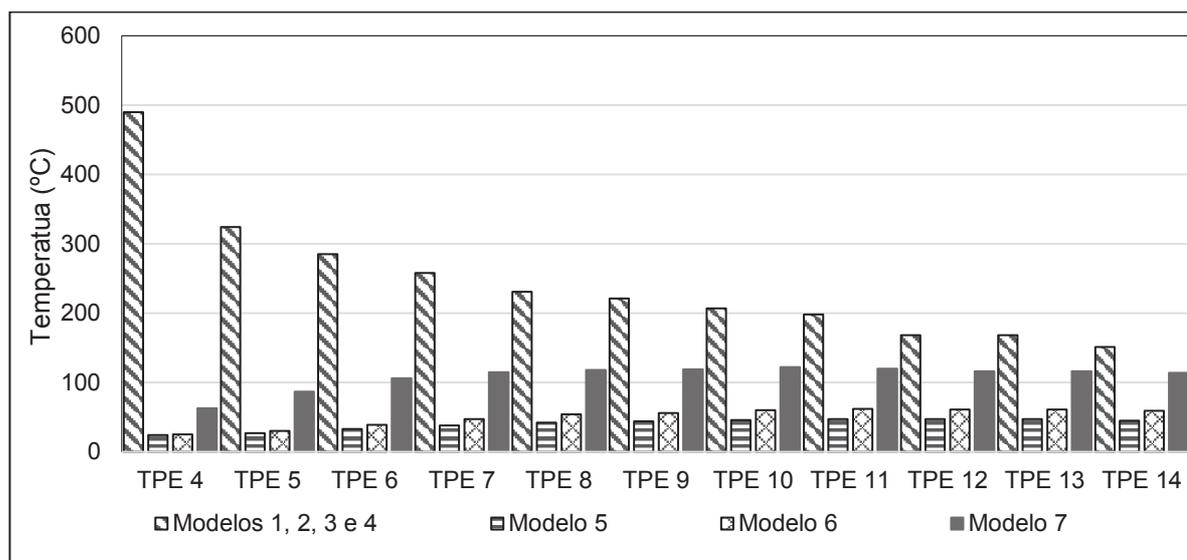
Figura 37 – Altura máxima aproximada da chama Modelo 7



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 32 (a) e (b) é possível observar que o prolongamento da laje foi capaz de afastar as chamas conforme o indicado no EN 1991 -1-2 (2002) e por Nilsson et al (2018). Esse afastamento foi confirmado na análise das temperaturas no Gráfico 5, os modelos 5 e 6 mantiveram temperaturas durante os 30 min de simulação que não foram capazes de levar os módulos envidraçados a falha.

Gráfico 5 – Temperaturas Médias na Face Externa



Modelo Referência (não possui prolongamento horizontal nem vertical); Modelo 1 (projeção vertical de 1,20 m); Modelo 2 (projeção vertical de 1,00 m); Modelo 3 (projeção vertical de 0,90 m); Modelo 4 (projeção vertical de 0,60 m); Modelo 5 (prolongamento horizontal 0,90 m); Modelo 6 (prolongamento horizontal 0,60 m); Modelo 7 (prolongamento horizontal 0,40 m).

Fonte: Elaborada pelo autor

No Modelo 7 ocorreu a falha de um módulo de vidro aos 16 min e o restante dos módulos após os 20 min de simulação. Na análise visual, aos 30 min (Figura 36 (b)), os gases quentes tocam a fachada demonstrando que o fenômeno “salto da chama”, apontado por Gunasekaran, Premalatha e Malini (2010), ocorre mesmo com a existência dessa compartimentação.

A partir do Gráfico 5 se observa que nos Modelos 1, 2, 3 e 4 as temperaturas seguem uma tendência de queda quando observadas do TPE 4 até o TPE 14, demonstrando que o fenômeno do “salto da chama” entre um pavimento e outro ocorre próximo a laje, logo nos casos do Modelo 1 e 2 esse fenômeno é barrado pela projeção vertical. Entretanto, no Modelo 7, há uma tendência de aumento de temperatura do

TPE 4 até o TPE 14, demonstrando que a projeção influenciou na altura em que ocorre esse fenômeno, deslocando-o para a porção da fachada compreendida entre o centro e topo do pavimento.

## 5 CONCLUSÃO

As simulações demonstram indícios que as compartimentações verticais baseadas em projeções horizontais que se prolongam além da fachada, apresentam uma eficácia superior em relação as compartimentações verticais baseadas em projeções verticais dispostas atrás da fachada estudada. Desta forma, dentro dos limitados estudos realizados, pode-se indicar de que as diretrizes brasileiras atuais de compartimentação apresentam uma dissonância em relação a sua eficácia, visto que não se pode atribuir a mesma eficácia para uma projeção vertical de 1,20 m em relação a uma projeção horizontal de 0,90 m.

A projeção horizontal de 0,90 m, dentro do estudo realizado, se mostrou capaz de isolar o pavimento superior das altas temperaturas e das chamas, enquanto que a projeção vertical citada barra as chamas, apresentado apenas um efeito de diminuição das temperaturas dentro do pavimento superior. Apesar da diminuição da dimensão horizontal de 0,90 m para 0,60 m, os resultados obtidos foram superiores a projeção vertical de 1,20 m.

Com base nos resultados das simulações realizadas, é possível sugerir que uma projeção horizontal de 0,40 m apresenta uma eficácia próxima a projeção vertical de 1,20 m, dentro dos 30 min de simulação, visto que tem a capacidade de barrar chamas e diminuir as temperaturas máximas alcançadas dentro da sala de observação.

Os resultados obtidos possuem um grau de incerteza que não foi mensurado, visto a necessidade de validação do modelo apresentado a partir de um ensaio real. Além disso, ressalta-se a utilização de materiais inertes.

O presente trabalho traz uma indicação de que os modelos atuais de compartimentações verticais presentes nas diretrizes brasileiras não apresentam a mesma eficácia quando comparados entre si, indicando que as projeções horizontais podem sofrer uma diminuição em suas dimensões ou os prolongamentos verticais necessitam de revisão em relação a sua eficácia.

Todavia, ressalta-se a importância da realização de ensaios complementares, em protótipos de tamanho real, com vistas a verificar os resultados obtidos bem como consolidar esse conhecimento para determinação específica das dimensões ideais para cada solução.

A partir de ensaios em tamanho real também será possível uma calibração mais precisa da simulação computacional, podendo o tempo de ensaio ser estendido e também aumentando a gama de tipos de compartimentações simuladas, o que trará maior clareza aos estudos utilizando combinações entre projeções verticais e horizontais, recuos e avanços dos pavimentos superior e inferior.

## 5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Executando a completa validação do modelo a partir de um ensaio real, outros formatos de compartimentação poderão ser avaliados, utilizando combinações entre projeções verticais e horizontais, recuos e avanços do pavimento superior. O tempo de simulação poderá ser estendido para outros intervalos de análise, utilizando o regramento de extrapolação de tempo da norma ASTM E2307 (ASTM, 2020).

Melhorias com a introdução dos parâmetros de todos os materiais envolvidos, como parâmetros de pirólise, combustibilidade e ignitabilidade e a partir disso poderão ser avaliadas a propagação de fumaça e densidade ótica.

Outros arranjos de vidros poderão ser introduzidos modificando a geometria da fachada e seus componentes. Dados de falha da estrutura metálica portante também poderão ser utilizados para aumentar a proximidade da simulação com a realidade.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E2307**: standard test method for determining fire resistance of perimeter fire barriers using intermediate-scale, multi-story test apparatus. Philadelphia, 2020.

ASIMAKOPOULOU E. K. et al. Characteristics of externally venting flames and their effect on the façade: a detailed experimental study. **Fire technology**, v. 52, n. 6, p. 2043-2069, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES E PROCESSADORES DE VIDROS PLANOS (ABRAVIDRO). Fachadas uma estrutura, várias opções: Os segredos por trás das fachadas. **Revista Vidro Plano**, Rio de Janeiro, ed. 541, p. 21-24, jan. 2018. Disponível em: <<https://pdf.magtab.com/leitor/136/edicao/18400>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

\_\_\_\_\_. **ABRAVIDRO Vidro de A Z**: Vidro *float*. Rio de Janeiro, [2019]. Disponível em:< <https://abravidro.org.br/vidros/vidro-float/>>. Acesso em: 21 abr 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **ABNT NBR 14432**: exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações- Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 16015**: vidro insulado – características, requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15575**: edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 10636**: paredes divisórias sem função estrutural – determinação da resistência ao fogo - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 5628**: componentes construtivos estruturais - determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 10821-1**: esquadrias externas e internas - terminologia. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 7199**: vidros na construção civil — projeto, execução e aplicações. Rio de Janeiro, 2016.

ANDERSON, J. et al. Uncertainties in façade fire tests measurements and modeling. In: **MATEC web of conferences**. EDP Sciences, 2016a. p. 03002. Disponível em:[https://www.researchgate.net/publication/301902386\\_Uncertainties\\_in\\_facade\\_fire\\_tests\\_-\\_measurements\\_and\\_modeling](https://www.researchgate.net/publication/301902386_Uncertainties_in_facade_fire_tests_-_measurements_and_modeling). Acesso em: 26 jul 2020

\_\_\_\_\_, Johan et al. FIRE DYNAMICS IN FAÇADE FIRE TESTS, Measurement, modeling and repeatability. **Applications of Structural Fire Engineering**, 2016b. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/281086836\\_FIRE\\_DYNAMICS\\_IN\\_FACADE\\_FIRE\\_TESTS\\_Measurement\\_modeling\\_and\\_repeatability/link/55d42ff708ae7fb244f596a5/download](https://www.researchgate.net/publication/281086836_FIRE_DYNAMICS_IN_FACADE_FIRE_TESTS_Measurement_modeling_and_repeatability/link/55d42ff708ae7fb244f596a5/download). Acesso em: 28 jul 2020.

\_\_\_\_\_, Johan et al. Modeling of fire exposure in facade fire testing. **Fire and Materials**, v. 42, n. 5, p. 475-483, 2018.

ARBEX, D. **Todo dia a mesma noite**: a história não contada da boate Kiss. 1 ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2018.

BATISTA, G. **Conheça os Sistemas de Fachada que Existem**. Setor Vidreiro, nov. 2017. Disponível em: < <https://www.alclean.com.br/single-post/2017/11/17/Conhe%C3%A7a-os-Sistemas-de-Fachadas-que-Existem>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

BBC. **Grenfell Tower: What happened**. Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/uk-40301289>>. Acesso em: 14 abr. 2019

BOLINA, F. L. et al. Avaliação da resistência ao fogo de paredes maciças de concreto armado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 291-305, out./dez. 2015.

British Standard (BS). **BS 8414-1:2002**, Fire performance of external cladding systems—Part 1: test method for non-loadbearing external cladding systems applied to the face of the building, 2002.

CANCELLIERE, Piergiacomo et al. A new test method to determine the fire behavior of façades with etic system. **Fire and Materials**, 2020. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fam.2886>>. Acesso em: 28 jul 2020.

CHEN, K. M. G.; VICTOR, F. **Curtain wall firestop review of code requirement and design issues**. GHl Consultants LTD, Vancouver, Oct. 2012. Disponível em: <[http://ghl.ca/wp-content/uploads/shared/2012F\\_-\\_Curtain%20Wall%20Firestop.pdf](http://ghl.ca/wp-content/uploads/shared/2012F_-_Curtain%20Wall%20Firestop.pdf)>. Acesso em: 11 dez. 2018.

COSTA, C. N.; SILVA, Valdir Pignatta. Revisão histórica das curvas padronizadas de incêndio. **Seminário Internacional NUTAU, 2006**.

COSTA, C. N. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio**. 2008. 405 f. Tese (Doutorado em Engenharia) -- Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2008.

DAILY MAIL. **Three quarters of people who died in the Grenfell fire 'were told to stay put by the emergency services**. Disponível em: <<https://www.dailymail.co.uk/news/article-6715567/Grenfell-Tower-fire-response-showed-systemic-failure-London-Fire-Brigade.html>>. Acesso em: 5 fev. 2019

DARMON, R. Sustainable fire safety design for building frontages. **Journal of Applied Engineering Sciences**, v. 2, n. 1, p. 19-24, Romênia, 2012. Disponível em: <[http://www.arhiconoradea.ro/JAES/Latest\\_ISSUE/JAES\\_MAI2012/PAPERSpdf/JAES2\\_15\\_\\_1\\_2012\\_\\_DARMON.pdf](http://www.arhiconoradea.ro/JAES/Latest_ISSUE/JAES_MAI2012/PAPERSpdf/JAES2_15__1_2012__DARMON.pdf)>. Acesso em: 07 mai. 2019.

DEMARCO, C. **Understanding the Basics of Firestopping**: Part Two. EUA, 2014. Disponível em: <https://ifpmag.mdmpublishing.com/understanding-basics-firestopping-part-two/>. Acesso em: 12 dez. 2018

DRÉAN et. al. Numerical simulation of the fire behavior of façade equipped with aluminium composite material-based claddings-Model validation at large scale. **Fire and Materials**. v. 43, p. 981-1002, 2019a. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fam.2759>>. Acesso em: 06 set. 2020.

DRÉAN et. al. Numerical simulation of the fire behavior of façade equipped with aluminium composite material-based claddings-Model validation at intermediate scale. **Fire and Materials**. v. 43, p. 839-856, 2019b. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/334762886\\_Numerical\\_simulation\\_of\\_the\\_fire\\_behaviour\\_of\\_facade\\_equipped\\_with\\_aluminium\\_composite\\_material-based\\_claddings-Model\\_validation\\_at\\_intermediate\\_scale](https://www.researchgate.net/publication/334762886_Numerical_simulation_of_the_fire_behaviour_of_facade_equipped_with_aluminium_composite_material-based_claddings-Model_validation_at_intermediate_scale)>. Acesso em: 06 set. 2020.

EDIFÍCIO WILTON PAES DE ALMEIDA. In: GOOGLE MAPS. Street View: Google, 2019. Disponível em: <[https://www.google.com.br/maps/@-23.5425268,-46.6380339,3a,75y,14.97h,124.87t/data=!3m7!1e1!3m5!1sBWp6M\\_28gBQWS1xgwf bDJA!2e0!5s20171101T000000!7i13312!8i6656](https://www.google.com.br/maps/@-23.5425268,-46.6380339,3a,75y,14.97h,124.87t/data=!3m7!1e1!3m5!1sBWp6M_28gBQWS1xgwf bDJA!2e0!5s20171101T000000!7i13312!8i6656)>. Acesso em: 24 mai. 2019.

ESPANHA. **Real Decreto nº 2.177 de 4 de outubro de 1996**. Aprueba la Norma Básica de la edificación NBE-CPI/96: condiciones de protección contra incendios em los edificios. Madrid, 1996 p. 8-11, 33-42. Disponível em: <<https://www.boe.es/boe/dias/1996/10/29/pdfs/A32378-32422.pdf>>. Acesso em: 05 de mai. 2019.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 1: Actions on structures—Part 1-2: General actions—Actions on structures exposed to fire**. (EN 1991-1-2). Brussels, 2002.

\_\_\_\_\_. **Eurocode 3: Design of Steel Structures — Part 1-2: General rules — Structural Fire Design**. (EN 1993-1-2, 2005). Brussels, 2005.

\_\_\_\_\_. **Eurocode 9: Design of Aluminium Structures – Part 1-2: Structural Fire Design**. (EN 1999-1-2). Brussels, 2007.

FINESTRA. Sistemas de fachadas: desenvolvimento tecnológico marca evolução do setor. Publicado originalmente em **FINESTRA**, São Paulo, ano 10, ed. 41, p. 52-67, abr./maio/jun. 2005. Disponível em: <<https://www.arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/sistemas-de-fachadas-01-05-2005>>. Acesso em: 11 dez. 2018.

FIRE, S. P. **105,-Method for fire testing of façade materials**. Dnr 171-79-360 Department of Fire Technology, Swedish National Testing and Research Institute, 1994.

FORNEY, G. P. Smokeview, A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data, User's guide. **NIST special publication 1017-1**, ed. 6 vol.1, 2019.

GANDHI, P. et al. Performance of glass-ACP façade system in a full-scale real fire test in a G+ 2 structure. **Procedia engineering**, v. 210, p. 512-519, 2017.

GAUCHAZH. **O que se sabe até agora sobre prédio que desabou no Largo do Paissandu, em SP.** Disponível em:

<<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2018/05/o-que-se-sabe-ate-agora-sobre-predio-que-desabou-no-largo-do-paissandu-em-sp-cjgnsco0o604nx01qo3tnf9vx1.html>>. Acesso em: 11 dez. 2018

GUNASEKARAN, U.; PREMALATHA, E.; MALINI, T. Aruna. Facades of tall buildings—state of the art. **Modern Applied Science**, v. 4, n. 12, p. 116-125, 2010.

GYPSUM ASSOCIATION (GA). GA GA-600-2009 - Fire Resistance and Sound Control Design Manual. **Gypsum Systems**. Ed. 19, p. 181, 2009.

HENNEMANN, G. G.; GIL, A. M.; FERNANDES, B.; BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F. Avaliação teórico-experimental da influência da espessura de alvenaria na resistência ao fogo de sistemas verticais de vedação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 183-195, out./dez. 2017.

INGASON, H.; LI, Y. Z.; LÖNNERMARK, A. Runehamar tunnel fire tests. **Fire Safety Journal**, v. 71, p. 134–139, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2014.11.015>>.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF FIRE AND RESCUE SERVICES. Center of Fire Statistics. **World fire statistics**. [S.I.], 2020. (CTIF, n. 23). Documento em PDF.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 8421-1**: fire protection - vocabulary. Geneva, 1987.

\_\_\_\_\_. **ISO 834**: fire resistance tests – Elements of building construction. Geneva, 2014.

\_\_\_\_\_. **ISO 13785-2:2002** Reaction-to-fire tests for facades—Part 2: large scale test. Geneva, 2002.

KESKI-RAHKONEN, O. Breaking of window glass close to fire. **Fire and materials**, v. 12, n. 2, p. 61-69, Finlândia, 1988.

KONECKI, M.; GALAJ, J. Flame transfer through the external walls insulation of the building during a fire. **Procedia Engineering**, v. 172, p. 529-535, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817305684>>. Acesso em: 06 mai. 2019.

LALU, O. et al. Experimental researches on determining the fire action response of improved exterior cladding systems provided with incombustible barriers. **Energy Procedia**, v. 112, p. 287-295, Romênia, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217312249>>. Acesso em: 07 mai. 2019.

LU, W. et al. Study of point-supported glass breakage behavior with varying point-covered areas under thermal loading. **International Journal of Thermal Sciences**. v. 132, p. 65-75 China, 2018. Disponível em: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1290072917315764?token=36AA2E94874B0F9D41B3545A2684DAF4D26DA39AC4AC1A1330014D9C6B629B80EE1BCC3BFA2C63C4F3245B04A81F6C79>>. Acesso em: 26 mai. 2020.

LUZ, V. H. da. Simulação computacional de incêndio em um depósito: análise das principais variáveis que influenciam no comportamento do incêndio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 57., 2015, Bonito. **Anais Eletrônicos...** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/283290332\\_Aplicacao\\_de\\_programas\\_computacionais\\_para\\_simulacao\\_de\\_incendio](https://www.researchgate.net/publication/283290332_Aplicacao_de_programas_computacionais_para_simulacao_de_incendio)>. Acesso em 02 jun. 2019.

MAKEPEACE, C. et al. **Glass and Metal Curtain Walls Best practice Guide Build Technology**. 2004. Public Works and Government Services Canada. Canada, 2004. Disponível em: < <http://www.tboake.com/guides/curtain.pdf>>. Acesso em: 20 abril. 2019.

MCGRATTAN, K. et al. Fire dynamics simulator technical reference guide volume 1: mathematical model. **NIST special publication**, v. 1018, n. 1, p. 175, 2020a.

MCGRATTAN, K. et al. Fire dynamics simulator User's Guide. **NIST special publication**, v. 1019, p. 397, 2020b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1019> >. Acesso em: 11 jul 2020.

MCGRATTAN, K. et al. Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 3: Validation. **NIST special publication**, v. 1018, p. 1050, 2020c. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1018> >. Acesso em: 11 jul 2020.

MCGRATTAN, K. et al. Fire dynamics simulator (version 5), technical reference guide. **NIST special publication**, v. 1018, n. 5, 2010.

MEMARI, A. M. **Curtain wall systems: a primer**. American Society of Civil Engineers (ASCE), 2013. Disponível em: <<http://bayanbox.ir/view/2702746531171151560/0784412707.pdf#page=98>>. Acesso em: 29 abr. 2019.

MIAO, L.; CHOW, C.-L. Investigation of burning photovoltaic panels on a double-skin facade with ejecting flame from an adjacent room fire. **Indoor and Built Environment**, v. 28, n. 7, p. 938-949, 2018.

MORENO JUNIOR, A. L. et al. Considerações de Interesse Sobre a Avaliação em Laboratório de Elementos Estruturais em Situação de Incêndio: contribuições à revisão da NBR 5628: 2001. **Ambiente Construído**, 2012.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA). **NFPA 101: Life Safety Code**. Massachusetts, 2018, 569 p. Disponível em: <<https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=101>>. Acesso em: 06 mai 2019.

\_\_\_\_\_. **NFPA 80: Standard for Fire Doors and Other Opening Protectives**. Massachusetts, 2019, 104 p. Disponível em: < <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=80> >. Acesso em: 06 mai 2019.

\_\_\_\_\_. **NFPA 80A: Protection of Buildings from Exterior Fire Exposures**. Massachusetts, 2017, 23 p. Disponível em: < <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=80A> >. Acesso em: 06 mai 2019.

\_\_\_\_\_. **NFPA 5000: Building Construction and Safety Code**. Massachusetts, 2018, 705 p. Disponível em: < <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=5000>>. Acesso em: 26 jul 2020.

NILSSON, Markus et al. A numerical comparison of protective measures against external fire spread. **Fire and Materials**, v. 42, n. 5, p. 493-507, 2018. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/fam.2527>>. Acesso em: 30 jul 2020.

NUCLEAR REGULATORY COMMISSION (NRC). **Nuclear Power Plant Fire Modeling Analysis Guidelines (NPP FIRE MAG)**. 2012, 305 p. Disponível em: < <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1934/>>. Acesso em: 11 jul 2020.

OLIVEIRA, L. A. de. **Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas leves**. 2009. 267f. Trabalho de Conclusão (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ONO, R. **O impacto do método de dimensionamento das saídas de emergência sobre o projeto arquitetônico de edifícios altos: uma análise crítica e proposta de aprimoramento**. 2010. 447 f. Tese (livre-docência) – Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2010.

PARANÁ. Governo do Estado do Paraná. Corpo de Bombeiros do Paraná. **Norma de Procedimento Técnico n. 03/2014: terminologia de segurança contra incêndio**. Paraná: 2014. 49 f. Disponível em: < [http://www.bombeiros.pr.gov.br/sites/bombeiros/arquivos\\_restritos/files/documento/2018-12/NPT\\_003.pdf](http://www.bombeiros.pr.gov.br/sites/bombeiros/arquivos_restritos/files/documento/2018-12/NPT_003.pdf)>. Acesso em: 01 mai. 2019.

PENG, L.; NI, Z.; HUANG, X. Review on the fire safety of exterior wall claddings in high-rise buildings in China. **Procedia Engineering**, v. 62, p. 663-670, 2013.

PORTUGAL. **Portaria nº 1532/2008, de 29 de dezembro de 2008**. Regulamenta o Decreto-Lei nº 220/2008, de 12 novembro de 2019. Disponível em: <<https://dre.pt/application/conteudo/444380>>. Acesso em: 06 de mai. 2019.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Segurança Pública. Corpo de Bombeiros militar do Rio Grande do Sul. Departamento de Segurança, Prevenção e Proteção Contra Incêndios. **Resolução Técnica de Transição - 2020**. Rio Grande do Sul: 2020. 25 f. Disponível em: <<https://www.bombeiros.rs.gov.br/resolucoes-tecnicas>>. Acesso em: 01 mai. 2019.

RODRIGUES, E. E. C. **Análise da eficiência dos sistemas de compartimentação vertical externa por afastamento entre janelas e por projeções horizontais segundo as exigências normativas brasileiras**. 2009. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2009.

ROSSO, S. Cortina de Vidro. **Téchne**, São Paulo, ed. 122, mai 2007, p. 1-8. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/122/artigo286403-2.aspx>. Acesso em: 20 abr. 2019.

SÃO PAULO. **Decreto nº 10.878 de 7 de fevereiro de 1974**. Institui normas especiais para segurança dos edifícios, a serem observadas na elaboração e na execução, bem como no equipamento e no funcionamento, e dispõe ainda sobre sua aplicação em caráter prioritário. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/sp/s/sao-aulo/decreto/1974/1087/10878/decreto-n-10878-1974-institui-normas-especiais-para-a-seguranca-dos-edificios-a-serem-observadas-na-elaboracao-dos-projetos-e-na-execucao-bem-como-no-equipamento-e-no-funcionamento-e-dispoe-ainda-sobre-sua-aplicacao-em-carater-prioritario>>. Acesso em: 19 de abr. 2019.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de bombeiros. **Instrução técnica n. 02/2019**: conceitos básicos de segurança contra incêndio. São Paulo: 2019a. 29 f. Disponível em: <[http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/dsci\\_publicacoes2/\\_lib/file/doc/IT-02-2019.pdf](http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/dsci_publicacoes2/_lib/file/doc/IT-02-2019.pdf)>. Acesso em: 26 mai. 2020.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de bombeiros. **Instrução técnica n. 03/2019**: terminologia de segurança contra incêndios. São Paulo: 2019b. 32 f. Disponível em: <[http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/dsci\\_publicacoes2/\\_lib/file/doc/IT-03-2019.pdf](http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/dsci_publicacoes2/_lib/file/doc/IT-03-2019.pdf)>. Acesso em: 26 mai. 2020.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de bombeiros. **Instrução técnica n. 07/2019**: Separação entre edificações (isolamento de risco). São Paulo: 2019c. 11 f. Disponível em: <[http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/dsci\\_publicacoes2/\\_lib/file/doc/IT-07-2019.pdf](http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/dsci_publicacoes2/_lib/file/doc/IT-07-2019.pdf)>. Acesso em: 26 mai. 2020.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de bombeiros. **Instrução técnica n. 08/2019**: Segurança estrutural contra incêndio. São Paulo: 2019d. 11 f. Disponível em: <[http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/dsci\\_publicacoes2/\\_lib/file/doc/IT-08-2019.pdf](http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/dsci_publicacoes2/_lib/file/doc/IT-08-2019.pdf)>. Acesso em: 26 mai. 2020.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de bombeiros. **Instrução técnica n. 09/2019**: Compartimentação horizontal e compartimentação vertical. São Paulo: 2019e. 18 f. Disponível em: <[http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/dsci\\_publicacoes2/\\_lib/file/doc/IT-09-2019.pdf](http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/dsci_publicacoes2/_lib/file/doc/IT-09-2019.pdf)>. Acesso em: 26 mai. 2020.

SEITO, A. I. et al.. A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: **Projeto Editora**, p. 496, 2008.

SIA, Esquadria e Vidros. **Sistema Spider Glass**. Spider Glass, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.siaesquadrias.com.br/servicos/sistema-spider-glass.php>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

SILVA, V. P. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**: conforme ABNT NBR 15200:2012. São Paulo: Blucher, 2012.

SRIVASTAVA, G. et al. Performance of combustible facade systems with glass, ACP and firestops in full-scale, real fire experiments. **Fire Technology**, p. 1-24, 2020.

SUNGUARD. **Manual Técnico: build with light**. Michigan, [2019]. Disponível em: <[http://www.sa.pt.sunguardglass.com/cs/groups/sunguardsouthamerica/documents/web\\_assets/gi\\_002781.pdf](http://www.sa.pt.sunguardglass.com/cs/groups/sunguardsouthamerica/documents/web_assets/gi_002781.pdf)>. Acesso em: 21 abr. 2019.

THE AGE. **Docklands owners sue for \$24m over fire, as date to fix cladding looms**. Disponível em: <https://www.theage.com.au/politics/victoria/docklands-owners-sue-for-24m-over-fire-as-date-to-fix-cladding-looms-20180909-p502pc.html>. Acesso em: 11 dez. 2018

THUNDERHEAD ENGINEERING. PyroSim User Manual. **Thunderhead Engineering Consultantes, Manhattan, USA**, 2020. Disponível em: <<https://support.thunderheadeng.com/docs/pyrosim/2020-2/user-manual/pdf/pyrosim-user-manual.pdf>>. Acesso em: 11 jul 2020.

THUNDERHEAD ENGINEERING. Heat Conduction in PyroSim/FDS. **Thunderhead Engineering Consultantes, Manhattan, USA**, 2017. Disponível em: <<https://www.thunderheadeng.com/2017/05/heat-conduction-and-radiation-in-pyrosimfds/>>. Acesso em: 11 jul 2020.

UNITIZED SYSTEM CURTAIN WALL/INSULATED GLASS PANEL/ALUMINUM ANDGLASS/HIGH-RESISTANCE. In: GOOGLE IMAGENS. ArchExpo: Google, 2019. Disponível em:

VAN D. B. et al.. **Performance- theory and pitfalls**. In: VAN DALEN, B. et al..Glass and Metal Curtain Walls: best practice guide building technology. Canada: Canada Mortgage and Housing Corporation, 2004, cap. IV, p. 1-27.

VAN H. P. Development of full-scale façade tests in ISO TC92. In: **MATEC web of conferences**. EDP Sciences, 2016. p. 01005. Disponível em: [https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2016/09/matecconf\\_01005/matecconf\\_01005.html](https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2016/09/matecconf_01005/matecconf_01005.html). Acesso em: 09 jun. 2020.

WANG, Yu. **Experimental and Numerical Study of Glass Façade Breakage Behavior Under Fire Conditions: Fire Safety Engineering**. Springer, 2019.

WANG, Y. et al.. Sensitivity analysis of influencing factors on glass façade breakage in fire. **Fire Safety Journal**, v. 98, p. 38-47, 2018.

\_\_\_\_\_, Yu et al. Experimental study on fallout behaviour of tempered glass façades with different frame insulation conditions in an enclosure fire. **Proceedings of the Combustion Institute**, v. 37, n. 3, p. 3889-3898, 2019.

\_\_\_\_\_, Yu et al.. Determination of critical breakage conditions for double glazing in fire. **Applied Thermal Engineering**, v. 111, p. 20-29, 2017a.

\_\_\_\_\_, Yu et al.. Experimental study on fire response of double glazed panels in curtain walls. **Fire Safety Journal**, v. 92, p. 53-63, 2017b.

\_\_\_\_\_, Yu et al. Fracture behavior of framing coated glass curtain walls under fire conditions. **Fire Safety Journal**, v. 75, p. 45-58, 2015.

WANG, Qingsong et al. A stochastic analysis of glass crack initiation under thermal loading. **Applied Thermal Engineering**, v. 67, n. 1-2, p. 447-457, 2014. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135943111400249X>>. Acesso em: 06 mai 2019

WESTPHAL, F. S. **Manual técnico do vidro plano para edificações**. Simplissimo Livros Ltda, ABIVIDRO, São Paulo, 2016.

WKYT. **Reported after fire in Dubai luxury building**. Disponível em: <https://www.wkyt.com/content/news/Fire-engulfs-luxury-building-in-Dubai-363942961.html> Injuries. Acesso em: 12 abr. 2018

YEHIA, S.; KASHWANI, G. Performance of Structures Exposed to Extreme High Temperature—An Overview. **Open Journal of Civil Engineering**, v. 03, n. 03, p. 154–161, 2013. Disponível em: <<http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/ojce.2013.33018>>.

YEHIA, S.; KASHWANI, G. Performance of Structures Exposed to Extreme High Temperature—An Overview. **Open Journal of Civil Engineering**, Sharjah, v. 3, n. 03, p. 154, 2013.

ZHOU, B. Application and design requirements of fire windows in buildings. **Procedia engineering**, v. 71, p. 286-290, 2014.

## APÊNDICE A – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADO NA CONFIGURAÇÃO DO PYROSIM/FDS®

1\_ensaio\_referencia\_quebra\_completa.fds  
Generated by PyroSim - Version 2020.2.0527  
22/08/2020 19:11:13

```
&HEAD CHID='1_ensaio_referencia_quebra_completa'/
&TIME T_END=1800.0/
&DUMP          DT_BNDF=1.0,          DT_HRR=1.0,          DT_SL3D=0.25,
SMOKE3D_QUANTITY='MASS FRACTION', SMOKE3D_SPEC_ID='METHANE'/
```

```
&MESH ID='Mesh 2', IJK=24,30,31, XB=0.0,4.044,-2.0,3.05,0.2,5.54/
```

```
&REAC ID='Metano',
      FUEL='METHANE'/
```

```
&DEVC ID='THCP 1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.0145,-0.17,1.5396/
&DEVC ID='THCP 2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.014,-0.17,1.997/
&DEVC ID='THCP 3', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.014,-0.17,2.302/
&DEVC ID='THCP 4', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.014,-0.17,2.606/
&DEVC ID='THCP 5', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.014,-0.17,2.911/
&DEVC ID='THCP 6', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.014,-0.17,3.216/
&DEVC ID='THCP 7', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.014,-0.17,3.521/
&DEVC ID='THCP 8', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.014,-0.17,3.826/
&DEVC ID='THCP 9', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.014,-0.17,4.131/
&DEVC ID='THCP 10', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.014,-0.17,4.436/
&DEVC ID='THCP 11', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.014,-0.17,4.741/
&DEVC ID='THCP 12', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.014,-0.17,5.046/
&DEVC ID='THCP 13', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.014,-0.17,5.046/
&DEVC ID='THCP 14', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.014,-0.17,5.351/
&DEVC ID='TPST barra 1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=1.405,0.03,2.029/
&DEVC ID='TPST barra 2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.015,0.03,2.029/
&DEVC ID='TPST barra 3', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.625,0.03,2.029/
&DEVC ID='TPST 4', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=1.252,2.286,2.25/
&DEVC ID='TPST 1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=1.252,0.762,2.25/
&DEVC ID='TPST 2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.773,0.762,2.25/
&DEVC ID='TPST 3', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.773,2.286,2.25/
&DEVC ID='TPST 5', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.011,1.524,2.25/
&DEVC      ID='TPST      barra      01',      QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=1.405,0.03,2.236614/
&DEVC      ID='TPST      barra      02',      QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=2.015,0.03,2.236614/
&DEVC      ID='TPST      barra      03',      QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=2.625,0.03,2.236614/
&DEVC      ID='TPST      barra      04',      QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=1.405,0.0,1.717259/
&DEVC      ID='TPST      barra      05',      QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=2.015,0.0,1.717259/
&DEVC      ID='TPST      barra      06',      QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=2.625,0.0,1.717259/
```

```

&DEVC ID='TPST barra 07', QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=1.405,0.03,1.787259/
&DEVC ID='TPST barra 08', QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=2.015,0.03,1.787259/
&DEVC ID='TPST barra 09', QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=2.625,0.03,1.787259/
&DEVC ID='THSOB1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.914,0.12,3.8235/
&DEVC ID='THSOB2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=3.3675,0.12,3.8235/
&DEVC ID='THSOB3', QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=0.914,0.267939,2.600147/
&DEVC ID='THSOB4', QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=3.3675,0.267939,2.600147/
&DEVC ID='THSOB5', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.015,0.12,3.478/
&DEVC ID='THSOB6', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.015,1.525,2.5/
&DEVC ID='THSOB7', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.015,1.525,3.478/
&DEVC ID='THSOB8', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.015,1.525,4.4/
&DEVC ID='TC-vidro1', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=0.6615,0.712,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,5.076,5.076, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T1-vidro1', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=0.185,0.235,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,5.256,5.256, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T2-vidro1', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=1.238,1.188,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,5.256,5.256, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T3-vidro1', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=0.185,0.235,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,4.745,4.745, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T4-vidro1', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=1.238,1.188,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,4.745,4.745, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='TC-vidro2', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=2.0145,2.065,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,5.076,5.076, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T1-vidro2', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=1.388,1.438,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,5.256,5.256, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T2-vidro2', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=2.591,2.541,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,5.256,5.256, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T3-vidro2', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=1.388,1.438,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,4.745,4.745, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T4-vidro2', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=2.591,2.541,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,4.745,4.745, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='TC-vidro3', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=3.3675,3.418,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,5.076,5.076, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T1-vidro3', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=2.741,2.791,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,5.256,5.256, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T2-vidro3', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=3.794,3.744,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,5.256,5.256, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T3-vidro3', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=2.741,2.791,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,4.745,4.745, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T4-vidro3', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=3.794,3.744,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,4.745,4.745, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='TC-vidro4', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=0.676496,0.726996,-5.999581E-3,-5.999581E-3,3.902033,3.902033, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T1-vidro4', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=0.139054,0.189554,-5.999581E-3,-5.999581E-3,4.516334,4.516334, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T2-vidro4', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=1.13539,1.18589,-5.999581E-3,-5.999581E-3,4.516011,4.516011, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T3-vidro4', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=0.202454,0.252954,-5.999581E-3,-5.999581E-3,3.341311,3.341311, SETPOINT=20.0/

```

```

&DEVC ID='T4-vidro4', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=1.205696,1.256196,-5.999581E-3,-5.999581E-3,3.341311,3.341311, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='TC-vidro5', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=2.028981,2.079481,-5.999581E-3,-5.999581E-3,3.902033,3.902033, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T1-vidro5', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=1.491539,1.542039,-5.999581E-3,-5.999581E-3,4.516334,4.516334, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T2-vidro5', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=2.487875,2.538375,-5.999581E-3,-5.999581E-3,4.516011,4.516011, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T3-vidro5', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=1.554939,1.605439,-5.999581E-3,-5.999581E-3,3.341311,3.341311, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T4-vidro5', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=2.558181,2.608681,-5.999581E-3,-5.999581E-3,3.341311,3.341311, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='TC-vidro6', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=3.362683,3.300485,-5.999581E-3,-5.999581E-3,3.899447,3.901209, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T1-vidro6', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=2.849577,2.900077,-5.999581E-3,-5.999581E-3,4.519395,4.519395, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T2-vidro6', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=3.729216,3.779716,-5.999581E-3,-5.999581E-3,4.519072,4.519072, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T3-vidro6', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=2.912977,2.963477,-5.999581E-3,-5.999581E-3,3.344372,3.344372, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T4-vidro6', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=3.749022,3.799522,-5.999581E-3,-5.999581E-3,3.344372,3.344372, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='TC-vidro7', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=0.676496,0.726996,-5.999581E-3,-5.999581E-3,2.443,2.443, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T1-vidro7', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=0.199996,0.249996,-5.999581E-3,-5.999581E-3,3.143,3.143, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T2-vidro7', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=1.252996,1.202996,-5.999581E-3,-5.999581E-3,3.143,3.143, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T3-vidro7', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=0.249996,0.299996,-5.999581E-3,-5.999581E-3,1.947066,1.947066, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T4-vidro7', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=1.252996,1.202996,-5.999581E-3,-5.999581E-3,1.810967,1.810967, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='TC-vidro8', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=2.0145,2.065,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,2.443,2.443, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T1-vidro8', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=1.388,1.438,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,3.143,3.143, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T2-vidro8', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=2.591,2.541,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,3.143,3.143, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T3-vidro8', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=1.388,1.438,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,1.810967,1.810967, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T4-vidro8', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=2.591,2.541,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,1.810967,1.810967, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='TC-vidro9', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=3.3675,3.418,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,2.443,2.443, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T1-vidro9', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=2.741,2.791,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,3.143,3.143, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T2-vidro9', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=3.794,3.744,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,3.143,3.143, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T3-vidro9', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=2.741,2.791,-
5.999581E-3,-5.999581E-3,1.810967,1.810967, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='T4-vidro9', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
XB=3.789517,3.840021,-5.999581E-3,-5.999581E-3,1.944831,1.945174, SETPOINT=20.0/
&DEVC ID='TIMER->OUT', QUANTITY='TIME', XYZ=0.0,-2.0,0.2, SETPOINT=300.0/
&DEVC ID='TIMER->OUT-2', QUANTITY='TIME', XYZ=0.0,-2.0,0.2,
SETPOINT=897.0, INITIAL_STATE=.TRUE./

```

```

&DEVC ID='TIMER->OUT-3', QUANTITY='TIME', XYZ=0.0,-2.0,0.2,
SETPOINT=240.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='TIMER->OUT-4', QUANTITY='TIME', XYZ=0.0,-2.0,0.2,
SETPOINT=916.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='TIMER->OUT-5', QUANTITY='TIME', XYZ=0.0,-2.0,0.2,
SETPOINT=412.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='TIMER->OUT-6', QUANTITY='TIME', XYZ=0.0,-2.0,0.2,
SETPOINT=145.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='TIMER->OUT-7', QUANTITY='TIME', XYZ=0.0,-2.0,0.2,
SETPOINT=489.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='TIMER->OUT-8', QUANTITY='TIME', XYZ=0.0,-2.0,0.2, SETPOINT=18.0,
INITIAL_STATE=.TRUE./

```

```

&MATL ID='Alumínio',
SPECIFIC_HEAT=0.46,
CONDUCTIVITY=45.8,
DENSITY=7850.0,
EMISSIVITY=0.95/

```

```

&MATL ID='Glass',
SPECIFIC_HEAT=0.84,
CONDUCTIVITY=1.0,
DENSITY=2500.0,
EMISSIVITY=0.84/

```

```

&SURF ID='Burner teste room mesh 02',
COLOR='RED',
HRRPUA=2000.0,
RAMP_Q='Burner teste room mesh 02_RAMP_Q',
TMP_FRONT=1200.0,
EMISSIVITY=1.0/

```

```

&RAMP ID='Burner teste room mesh 02_RAMP_Q', T=0.0, F=0.28/
&RAMP ID='Burner teste room mesh 02_RAMP_Q', T=300.0, F=0.67/
&RAMP ID='Burner teste room mesh 02_RAMP_Q', T=300.1, F=0.62/
&RAMP ID='Burner teste room mesh 02_RAMP_Q', T=600.0, F=0.63/
&RAMP ID='Burner teste room mesh 02_RAMP_Q', T=600.1, F=0.63/
&RAMP ID='Burner teste room mesh 02_RAMP_Q', T=900.0, F=0.74/
&RAMP ID='Burner teste room mesh 02_RAMP_Q', T=900.1, F=0.84/
&RAMP ID='Burner teste room mesh 02_RAMP_Q', T=1200.0, F=0.87/
&RAMP ID='Burner teste room mesh 02_RAMP_Q', T=1200.1, F=0.88/
&RAMP ID='Burner teste room mesh 02_RAMP_Q', T=1500.0, F=0.89/
&RAMP ID='Burner teste room mesh 02_RAMP_Q', T=1500.1, F=0.98/
&RAMP ID='Burner teste room mesh 02_RAMP_Q', T=1800.0, F=1.0/

```

```

&SURF ID='Window Burner',
COLOR='RED',
HRRPUA=398.0,
RAMP_Q='Window Burner_RAMP_Q',
TMP_FRONT=300.0,
EMISSIVITY=1.0/

```

```

&RAMP ID='Window Burner_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='Window Burner_RAMP_Q', T=300.0, F=0.9/
&RAMP ID='Window Burner_RAMP_Q', T=600.0, F=1.3/
&RAMP ID='Window Burner_RAMP_Q', T=600.1, F=0.28/
&RAMP ID='Window Burner_RAMP_Q', T=900.0, F=0.28/
&RAMP ID='Window Burner_RAMP_Q', T=900.1, F=0.9/
&RAMP ID='Window Burner_RAMP_Q', T=1200.0, F=1.05/

```

```

&RAMP ID='Window Burner_RAMP_Q', T=1200.1, F=0.8/
&RAMP ID='Window Burner_RAMP_Q', T=1500.0, F=0.88/
&RAMP ID='Window Burner_RAMP_Q', T=1500.1, F=0.9/
&RAMP ID='Window Burner_RAMP_Q', T=1800.0, F=0.9/
&SURF ID='Alumínio',
  COLOR='GAINSBORO',
  MATL_ID(1,1)='Alumínio',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=3.0E-3/
&SURF ID='Glass',
  RGB=195,252,245,
  MATL_ID(1,1)='Glass',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=6.0E-3/

  &OBST ID='apoio queimador interno',
XB=1.408985,2.616985,0.861667,2.376666,0.2,0.962, SURF_ID='INERT'/
  &OBST ID='Apoio queimador externo', XB=1.200894,2.829106,-0.41,-
0.247,0.011,1.451, SURF_ID='INERT'/
  &OBST ID='Obstruction', XB=0.3,3.73,3.05,3.24,0.203094,2.256094,
SURF_ID='INERT'/
  &OBST ID='Obstruction', XB=0.3,3.73,3.051155,3.241155,2.453094,4.453094,
SURF_ID='INERT'/
  &OBST ID='Montante1', XB=1.313,1.363,-0.025,-4.192491E-7,1.692,5.457,
SURF_ID='Alumínio'/
  &OBST ID='Montante2', XB=2.666,2.716,-0.025,-4.192491E-7,1.692,5.457,
SURF_ID='Alumínio'/
  &OBST ID='Montante3', XB=-0.015,4.044,-0.025,-4.192491E-7,4.67,4.72,
SURF_ID='Alumínio'/
  &OBST ID='Montante4', XB=-0.015,4.044,-0.025,-4.192491E-7,3.168,3.218,
SURF_ID='Alumínio'/
  &OBST ID='Glass1', XB=-0.015,1.338,-5.999581E-3,4.192491E-7,4.695,5.457,
SURF_ID='Glass', DEVC_ID='TIMER->OUT-2'/
  &OBST ID='Glass2', XB=1.338,2.691,-5.999581E-3,4.192491E-7,4.695,5.457,
SURF_ID='Glass', DEVC_ID='TIMER->OUT-3'/
  &OBST ID='Glass3', XB=2.691,4.044,-5.999581E-3,4.192491E-7,4.695,5.457,
SURF_ID='Glass', DEVC_ID='TIMER->OUT-4'/
  &OBST ID='Glass4', XB=-0.015,1.338,-5.999581E-3,4.192491E-7,3.194,4.696,
SURF_ID='Glass', DEVC_ID='TIMER->OUT-5'/
  &OBST ID='Glass5', XB=1.338,2.691,-5.999581E-3,4.192491E-7,3.193,4.695,
SURF_ID='Glass', DEVC_ID='TIMER->OUT-6'/
  &OBST ID='Glass6', XB=2.691,4.044,-5.999581E-3,4.192491E-7,3.193,4.695,
SURF_ID='Glass', DEVC_ID='TIMER->OUT-7'/
  &OBST ID='Glass7', XB=-0.015,1.338,-5.999581E-3,4.192491E-7,1.692,3.194,
SURF_ID='Glass', DEVC_ID='TIMER->OUT-8'/
  &OBST ID='Glass8', XB=1.338,2.691,-5.999581E-3,4.192491E-7,1.692,3.194,
SURF_ID='Glass', DEVC_ID='TIMER->OUT-8'/
  &OBST ID='Glass9', XB=2.691,4.044,-5.999581E-3,4.192491E-7,1.692,3.194,
SURF_ID='Glass', DEVC_ID='TIMER->OUT-8'/
  &OBST ID='Obstruction', XB=-0.015,1.0245,-0.1,4.192491E-7,0.93,1.692,
SURF_ID='INERT'/
  &OBST ID='Obstruction', XB=3.0045,4.044,-0.1,4.192491E-7,0.93,1.692,
SURF_ID='INERT'/
  &OBST ID='Obstruction', XB=-0.015,1.338,-0.1,4.192491E-7,0.2,0.93,
SURF_ID='INERT'/

```

```

      &OBST      ID='Obstruction',      XB=1.338,2.691,-0.1,4.192491E-7,0.2,0.93,
SURF_ID='INERT'/
      &OBST      ID='Obstruction',      XB=2.691,4.044,-0.1,4.192491E-7,0.2,0.93,
SURF_ID='INERT'/
      &OBST      ID='Obstruction',      XB=0.0,0.337,0.02,3.05,2.267097,2.439355,
SURF_ID='INERT'/
      &OBST ID='Obstruction', XB=0.337,0.5055,0.02,3.05,0.2,4.67871, SURF_ID='INERT'/
      &OBST      ID='Obstruction',      XB=0.5055,3.5385,0.02,3.05,2.267097,2.439355,
SURF_ID='INERT'/
      &OBST      ID='Obstruction',      XB=0.5055,3.5385,0.02,3.05,4.506452,4.67871,
SURF_ID='INERT'/
      &OBST ID='Obstruction', XB=3.5385,3.707,0.02,3.05,0.2,4.67871, SURF_ID='INERT'/
      &OBST      ID='Obstruction',      XB=3.707,4.044,0.02,3.05,2.267097,2.439355,
SURF_ID='INERT'/

      &VENT ID='Vent14', SURF_ID='OPEN', XB=-0.015,4.044,-2.0,3.05,5.54,5.54,
DYNAMIC_PRESSURE=1.0, PRESSURE_RAMP='Vent14_PRESSURE_RAMP'/
      &RAMP ID='Vent14_PRESSURE_RAMP', T=0.0, F=0.0/
      &RAMP ID='Vent14_PRESSURE_RAMP', T=300.0, F=0.0/
      &RAMP ID='Vent14_PRESSURE_RAMP', T=300.1, F=0.0/
      &RAMP ID='Vent14_PRESSURE_RAMP', T=600.0, F=0.0/
      &RAMP ID='Vent14_PRESSURE_RAMP', T=600.1, F=0.0/
      &RAMP ID='Vent14_PRESSURE_RAMP', T=900.0, F=0.0/
      &RAMP ID='Vent14_PRESSURE_RAMP', T=900.1, F=0.0/
      &RAMP ID='Vent14_PRESSURE_RAMP', T=1200.0, F=0.0/
      &RAMP ID='Vent14_PRESSURE_RAMP', T=1200.1, F=0.0/
      &RAMP ID='Vent14_PRESSURE_RAMP', T=1500.0, F=0.0/
      &RAMP ID='Vent14_PRESSURE_RAMP', T=1500.1, F=0.0/
      &RAMP ID='Vent14_PRESSURE_RAMP', T=1800.0, F=0.0/
      &VENT ID='Externo1', SURF_ID='INERT', XB=-0.015,4.044,-2.0,-2.0,0.2,5.54,
DYNAMIC_PRESSURE=1.0, PRESSURE_RAMP='Externo1_PRESSURE_RAMP'/
      &RAMP ID='Externo1_PRESSURE_RAMP', T=0.0, F=0.0/
      &RAMP ID='Externo1_PRESSURE_RAMP', T=300.0, F=0.0/
      &RAMP ID='Externo1_PRESSURE_RAMP', T=300.1, F=0.0/
      &RAMP ID='Externo1_PRESSURE_RAMP', T=600.0, F=0.0/
      &RAMP ID='Externo1_PRESSURE_RAMP', T=600.1, F=0.0/
      &RAMP ID='Externo1_PRESSURE_RAMP', T=900.0, F=0.0/
      &RAMP ID='Externo1_PRESSURE_RAMP', T=900.1, F=0.0/
      &RAMP ID='Externo1_PRESSURE_RAMP', T=1200.0, F=0.0/
      &RAMP ID='Externo1_PRESSURE_RAMP', T=1200.1, F=0.0/
      &RAMP ID='Externo1_PRESSURE_RAMP', T=1500.0, F=0.0/
      &RAMP ID='Externo1_PRESSURE_RAMP', T=1500.1, F=0.0/
      &RAMP ID='Externo1_PRESSURE_RAMP', T=1800.0, F=0.0/
      &VENT ID='externo2', SURF_ID='OPEN', XB=-0.015,-0.015,-2.0,-0.078667,0.2,5.54,
DYNAMIC_PRESSURE=1.0, PRESSURE_RAMP='externo2_PRESSURE_RAMP'/
      &RAMP ID='externo2_PRESSURE_RAMP', T=0.0, F=0.0/
      &RAMP ID='externo2_PRESSURE_RAMP', T=300.0, F=0.0/
      &RAMP ID='externo2_PRESSURE_RAMP', T=300.1, F=0.0/
      &RAMP ID='externo2_PRESSURE_RAMP', T=600.0, F=0.0/
      &RAMP ID='externo2_PRESSURE_RAMP', T=600.1, F=0.0/
      &RAMP ID='externo2_PRESSURE_RAMP', T=900.0, F=0.0/
      &RAMP ID='externo2_PRESSURE_RAMP', T=900.1, F=0.0/
      &RAMP ID='externo2_PRESSURE_RAMP', T=1200.0, F=0.0/
      &RAMP ID='externo2_PRESSURE_RAMP', T=1200.1, F=0.0/
      &RAMP ID='externo2_PRESSURE_RAMP', T=1500.0, F=0.0/

```

```

&RAMP ID='externo2_PRESSURE_RAMP', T=1500.1, F=0.0/
&RAMP ID='externo2_PRESSURE_RAMP', T=1800.0, F=0.0/
&VENT ID='Externo 3', SURF_ID='OPEN', XB=4.044,4.044,-2.0,-0.078667,0.2,5.54,
DYNAMIC_PRESSURE=1.0, PRESSURE_RAMP='Externo 3_PRESSURE_RAMP'/
&RAMP ID='Externo 3_PRESSURE_RAMP', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='Externo 3_PRESSURE_RAMP', T=300.0, F=0.0/
&RAMP ID='Externo 3_PRESSURE_RAMP', T=300.1, F=0.0/
&RAMP ID='Externo 3_PRESSURE_RAMP', T=600.0, F=0.0/
&RAMP ID='Externo 3_PRESSURE_RAMP', T=600.1, F=0.0/
&RAMP ID='Externo 3_PRESSURE_RAMP', T=900.0, F=0.0/
&RAMP ID='Externo 3_PRESSURE_RAMP', T=900.1, F=0.0/
&RAMP ID='Externo 3_PRESSURE_RAMP', T=1200.0, F=0.0/
&RAMP ID='Externo 3_PRESSURE_RAMP', T=1200.1, F=0.0/
&RAMP ID='Externo 3_PRESSURE_RAMP', T=1500.0, F=0.0/
&RAMP ID='Externo 3_PRESSURE_RAMP', T=1500.1, F=0.0/
&RAMP ID='Externo 3_PRESSURE_RAMP', T=1800.0, F=0.0/
&VENT ID='Vent12', SURF_ID='OPEN', XB=1.348,2.696,2.713333,3.05,0.2,0.2,
DYNAMIC_PRESSURE=10.0, PRESSURE_RAMP='Vent12_PRESSURE_RAMP'/
&RAMP ID='Vent12_PRESSURE_RAMP', T=0.0, F=1.5/
&RAMP ID='Vent12_PRESSURE_RAMP', T=300.0, F=0.5/
&RAMP ID='Vent12_PRESSURE_RAMP', T=301.0, F=0.0/
&RAMP ID='Vent12_PRESSURE_RAMP', T=600.0, F=0.0/
&RAMP ID='Vent12_PRESSURE_RAMP', T=601.0, F=0.0/
&RAMP ID='Vent12_PRESSURE_RAMP', T=900.0, F=0.0/
&RAMP ID='Vent12_PRESSURE_RAMP', T=901.0, F=0.0/
&RAMP ID='Vent12_PRESSURE_RAMP', T=1200.0, F=0.0/
&RAMP ID='Vent12_PRESSURE_RAMP', T=1201.0, F=0.0/
&RAMP ID='Vent12_PRESSURE_RAMP', T=1500.0, F=0.0/
&RAMP ID='Vent12_PRESSURE_RAMP', T=1500.1, F=0.0/
&RAMP ID='Vent12_PRESSURE_RAMP', T=1800.0, F=0.0/
&VENT ID='Vent22', SURF_ID='OPEN', XB=2.696,3.5385,0.861667,3.05,0.2,0.2,
DYNAMIC_PRESSURE=1.0, PRESSURE_RAMP='Vent22_PRESSURE_RAMP'/
&RAMP ID='Vent22_PRESSURE_RAMP', T=0.0, F=1.8/
&RAMP ID='Vent22_PRESSURE_RAMP', T=300.0, F=1.8/
&RAMP ID='Vent22_PRESSURE_RAMP', T=300.1, F=0.0/
&RAMP ID='Vent22_PRESSURE_RAMP', T=600.0, F=0.0/
&RAMP ID='Vent22_PRESSURE_RAMP', T=600.1, F=0.0/
&RAMP ID='Vent22_PRESSURE_RAMP', T=900.0, F=0.0/
&RAMP ID='Vent22_PRESSURE_RAMP', T=900.1, F=0.0/
&RAMP ID='Vent22_PRESSURE_RAMP', T=1200.0, F=0.0/
&RAMP ID='Vent22_PRESSURE_RAMP', T=1200.1, F=0.0/
&RAMP ID='Vent22_PRESSURE_RAMP', T=1500.0, F=0.0/
&RAMP ID='Vent22_PRESSURE_RAMP', T=1500.1, F=0.0/
&RAMP ID='Vent22_PRESSURE_RAMP', T=1800.0, F=0.0/
&VENT ID='Vent23', SURF_ID='OPEN', XB=0.5055,1.348,1.03,3.05,0.2,0.2,
DYNAMIC_PRESSURE=1.0, PRESSURE_RAMP='Vent23_PRESSURE_RAMP'/
&RAMP ID='Vent23_PRESSURE_RAMP', T=0.0, F=1.8/
&RAMP ID='Vent23_PRESSURE_RAMP', T=300.0, F=1.8/
&RAMP ID='Vent23_PRESSURE_RAMP', T=300.1, F=0.0/
&RAMP ID='Vent23_PRESSURE_RAMP', T=600.0, F=0.0/
&RAMP ID='Vent23_PRESSURE_RAMP', T=600.1, F=0.0/
&RAMP ID='Vent23_PRESSURE_RAMP', T=900.0, F=0.0/
&RAMP ID='Vent23_PRESSURE_RAMP', T=900.1, F=0.0/
&RAMP ID='Vent23_PRESSURE_RAMP', T=1200.0, F=0.0/
&RAMP ID='Vent23_PRESSURE_RAMP', T=1200.1, F=0.0/

```

```
&RAMP ID='Vent23_PRESSURE_RAMP', T=1500.0, F=0.0/  
&RAMP ID='Vent23_PRESSURE_RAMP', T=1500.1, F=0.0/  
&RAMP ID='Vent23_PRESSURE_RAMP', T=1800.0, F=0.0/  
&VENT ID='Queimador interno', SURF_ID='Burner teste room mesh 02',  
XB=1.408985,2.616985,0.861667,2.376666,0.962,0.962/  
&VENT ID='Queimador externo', SURF_ID='Window Burner',  
XB=1.200894,2.829106,-0.409604,-0.247,1.451,1.451, DEVC_ID='TIMER->OUT'
```

```
&BNDF QUANTITY='HEAT TRANSFER COEFFICIENT'/  
&BNDF QUANTITY='INCIDENT HEAT FLUX'/  
&BNDF QUANTITY='NET HEAT FLUX'/  
&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'/  
&BNDF QUANTITY='RADIOMETER'/
```

```
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=-0.1/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=0.0/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=0.07/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=1.525/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', XB=-0.015,4.044,-2.0,3.24,0.2,5.54,  
FYI='Temperatura'/  
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', XB=-0.015,4.044,-2.0,3.24,0.2,5.54, FYI='Fumaça'/  
&SLCF QUANTITY='HRRPUV', XB=1.502574,2.514,-0.12,0.25,2.474334,3.727266,  
FYI='taxa de liberação de calor'/  
&SLCF QUANTITY='OPTICAL DENSITY', XB=-0.015,4.044,-2.0,3.24,0.2,5.54,  
FYI='Fumaça2'/  
&SLCF QUANTITY='MIXTURE FRACTION', XB=-0.015,4.044,-2.0,3.24,0.2,5.54,  
FYI='Fumaça3'/
```

```
&TAIL /
```