

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**HUGO ALEXANDRE ALVES DIAS**  
**JONATAN GUIZALBERTH DOS SANTOS**

**RISCOS ASSOCIADOS À QUEDA DE PARTES DE FACHADAS  
ENVIDRAÇADAS EM CASO DE INCÊNDIO**

VOLTA REDONDA, RJ

2020

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**RISCOS ASSOCIADOS À QUEDA DE PARTES DE FACHADAS  
ENVIDRAÇADAS EM CASO DE INCÊNDIO**

Monografia apresentada ao Curso  
de Engenharia Civil do UniFOA  
como requisito à obtenção de título  
de bacharel em Engenharia Civil.

Aluno: Hugo Alexandre Alves Dias  
Jonatan Guizalberth dos Santos

Orientador: Prof. Esp. Rogerio  
Nogueira Pereira

VOLTA REDONDA, RJ

2020



Fundação Oswaldo Aranha



### FOLHA DE APROVAÇÃO

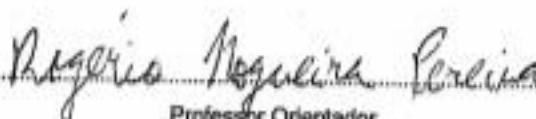
Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **RISCO ASSOCIADOS À QUEDA DE PARTES DE FACHADAS EM VIDRAÇAS EM CASO DE INCÊNDIO.**

Elaborado por Hugo Alexandre Alves Dias, Matrícula 201520718 e Jonatan Guizalberth Dos Santos, Matrícula 201411049.

Apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Civil.


Aprovada em 24 de Junho de 2020.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora:



Professor Orientador

Prof.º Esp. Rogério Nogueira Pereira, UniFOA

  
.....  
Professor Avaliador

Prof. Me. Jesus Caldeira de A. Alvarenga

  
.....  
Professor Avaliador

Prof. Dr. Sergio Roberto Montoro UniFOA

Dedicamos este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em nossas vidas, aos nossos familiares, amigos e professores pelo suporte durante toda jornada durante o curso e na conclusão da monografia.

## RESUMO

Nos últimos anos, as fachadas de vidro ganharam cada vez mais popularidade nas áreas em desenvolvimento características como durabilidade, segurança, habitabilidade e sustentabilidade, melhor aparência e ambiente interno com luz do dia. Contudo, fachadas de vidro trazem desafios para a construção de segurança contra incêndios devido ao uso extensivo de vidro altamente quebrável e materiais metálicos deformáveis a altas temperaturas. Fogo e fumaça podem se espalhar para os andares superiores devido a falhas no sistema construtivos. Os gases quentes e de fogo também podem se espalhar verticalmente através da abertura do perímetro entre lajes e paredes de cortina, se o perímetro não estiver bem vedado ou danificado no fogo. A tarefa mais importante a ser realizada em caso de incêndio é garantir a segurança de seus usuários e equipes de resgate. Portanto, o risco associado à possibilidade de peças caírem da parede externa em caso de incêndio não pode ser negligenciado. Os objetivos da pesquisa foi analisar os métodos de ensaios recomendados pela comunidade técnico-científica internacional e brasileira sobre a resistência ao fogo em fachadas envidraçadas. A metodologia utilizada nesse projeto foi através de pesquisas bibliográficas nacionais e internacionais com o intuito de agregar maior valor intelectual ao trabalho. Esse trabalho tem como intuito, buscar, reunir e analisar informações disponíveis nas normativas internacionais sobre o assunto. No desenvolvimento realizaremos uma comparação entre os métodos de ensaio existentes, evidenciando o método de ensaio ASTM E2307: 2015; E1966: 2015; NBR 6479: 1992; E1399: 2017; NBR 10636: 1989, que simula a exposição ao fogo às fachadas envidraçadas, afim de confirmar se realmente são resistentes ao fogo. As edificações com fachada pele de vidro, quanto à resistência ao fogo, de acordo com as propostas do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, não seriam consideradas seguras contra incêndio nas normativas internacionais. Com a realização desse trabalho foi observado que existe uma escassez de normas nacionais referente ao assunto.

**Palavras-chave:** Fachadas envidraçadas; Evacuação; Propagação de chamas; Partes em queda.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Incêndio em um arranha-céu comercial no Complexo Bandra-Kurla, na Índia em setembro de 2012. ....	9
Figura 2 - O edifício EZ Towers, concluído em 2015, possui grandiosos 54.700m <sup>2</sup> com vidros laminados refletivos. ....	12
Figura 3 - Detalhe Genérico - Vidro e Alumínio.....	13
Figura 4 - Categoria x Requisitos de Desempenho.....	13
Figura 5 - Classe de Anodização x Agressividade do Ambiente .....	14
Figura 6 - Tipos de Vidro adotados para Fachadas Cortina.....	16
Figura 7 - Esquadrias de alumínio com colunas expostas. ....	19
Figura 8 - Esquadrias de alumínio não muito aparente, pele de vidro original. ....	19
Figura 9 - Esquadrias de alumínio encoberta pele de vidro structural glazing. ....	20
Figura 10 – Fachada sistema Stick .....	20
Figura 11 – Esquema de montagem fachada Stick.....	21
Figura 12 - Sistema unitizado.....	22
Figura 13 - Esquema de montagem do sistema unitizado. ....	22
Figura 14 – Resumo dos sistemas de montagem Stick e Unitizado.....	23
Figura 15 - Tetraedro de Fogo .....	24
Figura 16 - Curva de evolução do incêndio.....	25
Figura 17 – Fresta entre a estrutura de esquadrias e a supra estrutura do edifício.....	27
Figura 18 - Barreira periférica contra fogo.....	28
Figura 19 - Colapso da barreira periférica contra fogo ocasionado pela deformação da fachada pele de vidro. ....	28
Figura 20 – Método de ensaio E2307/ISMA.....	31
Figura 21 – Componentes do método de ensaio E2307/ISMA.....	32
Figura 22 - Ensaio de movimento cíclico..... <b>Erro! Indicador não definido.</b>	
Figura 23 – Configuração possível à fachada de teste .....	35
Figura 24 – Característica do incêndio gerado pelo queimador externo em uma fachada de teste com o montante de alumínio centralizado .....	36
Figura 25 - Colapso do isolamento de lã de rocha adjacente à barreira periférica contra fogo.....	36
Figura 26 – Curva tempo-temperatura ISMA/E119 .....	37
Figura 27 - Curva tempo-temperatura E119.....	38
Figura 28 – Localização de alguns termopares antes do início do ensaio .....	39
Figura 29 – Superfície não exposta da barreira periférica contra fogo após o término do ensaio.....	40
Figura 30 – Ensaio de resistência ao fogo em unidade envidraçada .....	42
Figura 31 - Comparação entre critérios de segurança contra o fogo francesa e brasileiros.....	48
Figura 32 - Classificação dos materiais conforme velocidade de propagação de chamas (CB – IT10, 2004) .....	48
Figura 33 - TRRF para elementos estruturais e de compartimentação (adaptado de CB – IT08/04) .....	49
Figura 34 - Esquema da regra C + D .....	49

Figura 35 - Compartimentação vertical – verha e peitoril (CB – IT09, 2001)....	50
Figura 36 - Compartimentação vertical – projeção da laje (CB – IT09, 2001) ..	50
Figura 37 - Isolamento com relação aos edifícios vizinhos .....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AFNOR – Association Francaise de Normalisation (Associação Francesa de Normalização)

ASTM – American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana de Ensaios de Materiais)

DIN – Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemão de

E – Norma ASTM

h – Hora

ISMA – Intermediate-Scale Multistory Test Apparatus (Aparato de Ensaio de Múltiplos Andares)

ISO – International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização)

m – Metro

min – minuto

NBR – Norma Brasileira NF – Norma Homologada NM – Norma Mercosul

Normalização)

TEMP – temperatura

TRRF – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

°C – grau Celsius

°F – grau Fahrenheit

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
1.1 Descrição do Problema.....	10
1.2 Justificativa.....	10
1.3 Estrutura do Projeto.....	10
1.4 Objetivo Geral.....	10
1.5 Objetivo Específico.....	11
2 CARACTERIZAÇÃO DE FACHADAS PELE DE VIDRO.....	12
2.1 Conceito.....	12
3 APRESENTAÇÃO DOS ELEMENTOS DA FACHADA.....	14
3.1 Alumínio.....	14
3.2 Anodização.....	14
3.3 Pintura Eletrostática.....	15
3.4 Vidros.....	15
3.5 Sistema de Fixação.....	17
4 MÉTODO CONSTRUTIVO.....	19
4.1 Sistema <i>Stick</i> .....	20
4.2 Sistema Unitizado.....	21
5 RISCOS DE INCENDIO.....	24
6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO FOGO EM FACHADAS PELE DE VIDRO.....	29
6.1 Método de Ensaio ASTM E2307.....	29
6.2 Levantamento do Ensaio.....	32
6.3 Simulação de Incêndio.....	37
6.4 Resultados.....	39
6.5 Limitações do Ensaio.....	40
6.6 Ensaio de Compartimentação Horizontal.....	42
7 ANALOGIA ENTRE AS NORMAS DE SEGURANÇA CONTRA O FOGO FRANCESA E BRASILEIRA.....	45
8 CONCLUSÃO.....	52
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das tendências mais importantes dos últimos anos no setor da Construção Civil foi o uso das fachadas envidraçadas. Nos grandes centros urbanos estão cheios de prédios com fachadas envidraçadas. Não há dúvidas que elas dão uma aparência muito mais imponente e sofisticada a edificação, VIDRO IMPRESSO, 2016.

Uma razão pela qual desenvolvedores (arquitetos/engenheiros) preferem as fachadas envidraçadas é porque ela reduz o consumo de energia, custos com a manutenção o peso da fundação e, portanto, tornados o edifício mais leve em comparação com a construção de paredes. Além disso, o vidro faz com que a área pareça muito mais espaçosa, mais ampla e crie uma sensação de “bem-estar” JORNAL DA USP, 2019.

A fachada é um tipo de parede que geralmente consiste em elementos estruturais verticais e horizontais, conectados entre si e fixados à estrutura de suporte do edifício para que forme uma pele contínua, que forneça todas as funções normais de uma parede externa, mas não assume nenhuma das características de suporte de cargas do edifício.

Segundo informações condidas no Portal do Incêndio, 2018 a tarefa mais importante a ser cumprida em caso de incêndio é garantir a segurança de seus usuários e equipes de resgate. Portanto, o risco associado à possibilidade de peças caírem da parede externa em caso de incêndio não pode ser negligenciado. Para fachadas resistentes ao fogo, envidraçadas com vidraças especiais, esse problema é sem dúvida eliminado.

Na prática, mais frequentemente, a resistência ao fogo da parede externa é limitada apenas às áreas do lajes, o que permite o uso de painéis de vidro que não são classificados como fogo no espaço restante da fachada. Esta solução é suficiente para impedir a propagação do fogo para pisos adjacentes do edifício, mas pode representar certos riscos associados à possibilidade de grandes pedaços da fachada caírem NORMAS TÉCNICAS, 2014.

Como pode ser observado na figura 01, um incêndio que ocorreu em um arranha-céu comercial na Índia em 2012, a imagem mostra que os vidros não aguentaram a alta temperatura ocasionado por um *flash-over*, (que é a ignição simultânea dos materiais combustíveis diretamente expostos em uma área fechada), AHBV DE PAÇO DE SOUSA, 2013.



Figura 1 - Incêndio em um arranha-céu comercial no Complexo Bandra-Kurla, na Índia em setembro de 2012.  
(Fonte: DNA Índia, 2015)

O problema está principalmente relacionado ao comportamento das unidades de vidro sob a influência de alta temperatura durante um incêndio. Portanto, garantir a segurança da evacuação de usuários e equipes de resgate também pode depender do comportamento da fixação e estrutura especificadas da unidade de vidro. Supõe-se que se, sob a influência do fogo, a camada externa da unidade de vidro se quebrar em pedaços pequenos e cair, ela não representa ameaça. Por outro lado, se a unidade de vidro cair como um todo (ou em pedaços grandes e pesados), o risco é considerável.

## **1.1 Descrição do Problema**

Buscou-se reunir dados/informações com o propósito de responder ao seguinte problema de pesquisa: De que forma as avaliações de resistência a incêndio internacionais em fachadas envidraçadas, pode auxiliar no sistema construtivo, a fim de promover a segurança contra incêndio em edificações devido à ausência de normas nacionais?

## **1.2 Justificativa**

Embora não sejam igualmente bem definidos como outros requisitos de segurança contra incêndio em fachadas envidraçadas, existem muitos métodos de teste para avaliação de fachadas em relação a peças em queda, principalmente com base em uma abordagem relacionada à propagação de incêndio.

## **1.3 Estrutura do Projeto**

A pesquisa bibliográfica, que consiste em reunir, as literaturas nacionais e internacionais, conveniente ao estudo da resistência ao fogo em fachadas pele de vidro, possibilitando o aprofundamento teórico sobre o comportamento e a resistência ao fogo desse sistema, serão analisadas as recomendações do Corpo de Bombeiros comparando os com as recomendações presentes nos ensaios realizados pela *American Society for Testing and Materials (ASTM)*.

## **1.4 Objetivo Geral**

Analisar os testes de incêndio de um segmento típico de fachada envidraçada realizada pela comunidade técnico-científica nacional e internacional.

### **1.5 Objetivos Específicos**

1. Realizar a análise comparativa entre as normas internacionais em relação as regulamentações brasileiras.
2. Demonstrar os métodos de ensaios em relação a resistência ao fogo de fachadas envidraçadas.
3. Avaliar os critérios de segurança contra o incêndio Francesa e Brasileira.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DE FACHADAS PELE DE VIDRO

Esse capítulo tem como objetivo apresentar as tecnologias em fachadas envidraçadas por meio das seções a seguir, que contém o conceito, características.

### 2.1 Conceito

As fachadas são uma parte importante do conjunto de um edifício: a vedação externa tem como objetivo separar o ambiente interno do externo da construção.

Segundo as instruções contidas na norma ABNT NBR 10821-1: 2017 fachada-cortina é composta por "esquadrias interligadas e estruturadas com função de vedação que formam um sistema contínuo, desenvolvendo-se no sentido da altura e/ou largura da fachada da edificação, sem interrupção, por pelo menos dois pavimentos", como pode observar na figura 2 um bom exemplo de edifício comercial que utilizou a fachada pele de vidro como revestimento externo.



Figura 2 - O edifício EZ Towers, concluído em 2015, possui grandiosos 54.700m<sup>2</sup> com vidros laminados refletivos.

(Fonte: Revista Vidro Impresso, 2016)

Complementando as definições dadas, tem-se que os principais componentes do sistema de fachada cortina são o vidro e o alumínio, além dos parafusos de fixação, borracha de vedação, silicone estrutural (*glazing*) e as fitas dupla face de alta performance, responsáveis pela aderência e fixação entre os perfis metálicos e o vidro ASPLASTEC, 2019.



Figura 3 - Detalhe Genérico - Vidro e Alumínio  
(Fonte: Potiguara, 2017)

Sendo assim, é preciso ter o conhecimento mais aprofundado desses materiais para o correto dimensionamento e especificação de todas as peças e elementos que irão compor os módulos da fachada, garantido que este assuma o desempenho adequado de acordo com as exigências dos usuários expressas na ABNT NBR 15575-1: 2013, entre às áreas, como podemos ver na figura 4:

<b>CATEGORIA</b>	<b>REQUISITOS</b>
<b>Segurança</b>	As edificações devem ter segurança estrutural, contra o fogo e quanto ao uso e operação;
<b>Habitabilidade</b>	Estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho luminoso, saúde, higiene, qualidade do ar, funcionalidade, acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico.
<b>Sustentabilidade</b>	Durabilidade, Manutenibilidade e impacto ambiental.

Figura 4 - Categoria x Requisitos de Desempenho  
(Fonte: ABNT NBR 15575-1: 2013)

### 3 APRESENTAÇÃO DOS ELEMENTOS DA FACHADA

#### 3.1 Alumínio

Os perfis de alumínio utilizados na composição de fachadas e esquadrias são, geralmente extrudados e compostos com ligas de alumínio da série 6000, cujos elementos de composição são: alumínio, magnésio e silício. Essa série de ligas apresenta boa capacidade de extrusão, média resistência mecânica e excelentes condições para a aplicação de acabamentos superficiais, como a anodização ABNT NBR ISO 2107: 2008.

#### 3.2 Anodização

A anodização é um tipo de acabamento superficial dos perfis que consiste em, através da eletrólise, depositar uma camada anódica de alumina na superfície dos perfis, protegendo os contra os ataques químicos, proporcionando maior brilho e um melhor caráter estético, ou seja, é um processo eletroquímico que promove a formação de uma camada de óxido de alumínio que confere um excelente acabamento superficial para os perfis, além de proporcionar proteção eficaz contra o intemperismo, ar salino, marítimo e atmosfera industrial, cobrindo uma ampla gama de aplicações, na figura 5 podemos observar a classificação da anodização em referência ao ambiente que o material será exposto MENEGHESSO, 2006.

<b>CLASSIFICAÇÃO DA ANODIZAÇÃO</b>	<b>AGRESSIVIDADE DO AMBIENTE</b>
A13 (11 a 15 micras)	Baixa ou Média (Zona Urbana ou Rural)
A18 (16 a 20 micras)	Alta (Orla Marítima)
A23 (21 a 25 micras)	Excessiva (Industrial ou Marítima)

Figura 5 - Classe de Anodização x Agressividade do Ambiente  
(Fonte: ABNT NBR 12609: 2017)

### 3.3 Pintura Eletrostática

A pintura eletrostática é o processo mais conhecido e largamente utilizado na decoração e proteção do alumínio e diferente da anodização, não causa alterações químicas no metal a ser pintado (ARRUDA, 2010).

### 3.4 Vidros

A grande referência para a aplicação do vidro na construção Civil mudou com a publicação pela ABNT da revisão da norma NBR 7199: 2016 – Vidros na Construção Civil – Projeto, Execução e Aplicações. Na versão anterior, as informações sobre os tipos de vidros para cada aplicação encontravam-se dispersos ao longo do texto, enquanto que na nova publicação encontram-se apresentadas em uma tabela, facilitando o entendimento e evitando interpretações erradas. Para as fachadas cortina, temos janelas projetantes (Caixilhos móveis que se projetam para o exterior, nos edifícios de mais de dois pavimentos, com projeção superior a 0,25 m) e fachadas (vidros verticais) que permitem 4 tipos de vidros (ABRAVIDRO, 2016), conforme apresentado na figura 6.

TIPO DE VIDRO	DESCRIÇÃO	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA
Laminado	No caso de quebra, o vidro não se desprende do material, não projeta cacos e mantém o vão fechado graças a uma película em seu interior.*	

---

\* Continua na próxima página.


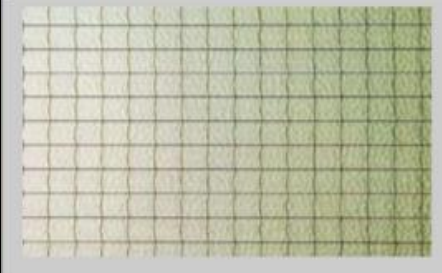
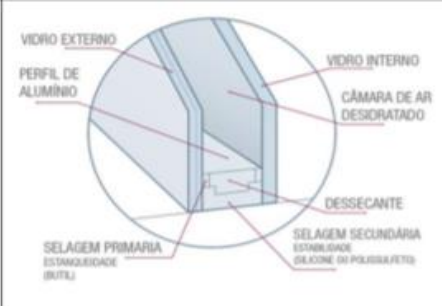
<b>Temperado</b>	A têmpera aumenta em até cinco vezes a resistência original do vidro e no caso de quebra, se estilhaça em centenas de pedaços sem lascas cortantes, em pedaços não pontiagudos e não afiados.	
<b>Aramado</b>	No caso de quebra, a rede metálica presente na sua composição “segura” os estilhaços do vidro, mantendo o vão fechado.	
<b>Insulado ou Duplo</b>	Em sua composição, a peça interior deve ser laminada ou aramada.	

Figura 6 - Tipos de Vidro adotados para Fachadas Cortina  
(Fonte: ABRAVIDRO, 2016)

Tem-se definido como vidro de segurança pela ABNT NBR NM 293: 2004 “vidro plano cujo processamento de fabricação reduz o risco de ferimentos em caso de quebra”.

De acordo com Arruda, 2010 o desempenho térmico das edificações com fachadas cortina, depende basicamente do vidro utilizado. Este é parte integrante do projeto arquitetônico e tem forte relevância na estética, no conforto térmico, na economia (redução dos custos com ar condicionado) e na segurança devido às suas características que impõem benefícios de transparência, conforto, integração e privacidade.

Os vidros ocupam a maior área das esquadrias das fachadas cortina, constituindo, portanto, a maior área de penetração de luz, calor e ruído. Por essa razão, sua especificação deve ser cuidadosa e, para isso, é necessário

conhecer o desempenho dos vários tipos de vidro disponíveis de acordo com as normas atuais.

### **3.5 Sistema de Fixação**

A fixação da fachada pele de vidro na supra estrutura da edificação é realizada através de ancoragens de alumínio, conforme apresentado na figura 7. Os montantes que compõem a estrutura de alumínio são unidos às ancoragens através de parafusos, e as ancoragens são chumbadas à supra estrutura através de chumbadores por um processo químico ou de expansão. Todos os componentes envolvidos nessa fixação devem ser dimensionados devido à ação do vento, peso próprio e cargas acidentais; e recomenda-se o uso de parafusos e chumbadores de aço inoxidável (SOUZA 2008).

A ABNT NBR 10821-2: 2011 prevê a utilização de peças de aço inoxidável austenítico em contato com os perfis de alumínio, pois a diferença de potencial elétrico entre esses dois materiais não ocasiona corrosão galvânica. "Os austeníticos são os mais utilizados na construção civil por sua elevada resistência à corrosão e por possuírem boa resistência mecânica." (OLIVEIRA, 2009).

Percebe-se, na figura 7, o espaço vazio entre o montante de alumínio e a supra estrutura do edifício, que é gerado pela ancoragem de fixação. Esse detalhe, intrínseco ao sistema construtivo de fachadas pele de vidro, é a principal característica do comportamento ao fogo de fachadas pele de vidro em situações de incêndio (PIEROZAN, 2016).



Figura 7 - Ancoragem do montante à supra estrutura do edifício  
(Fonte: SANTOS, 2013)

#### 4 MÉTODO CONSTRUTIVO

O método construtivo para fachadas envidraçadas teve grande evolução ao decorrer dos anos, com o propósito de camuflar a estrutura de alumínio para cada vez deixar cada vez mais evidente as folhas de vidro (POTIGUARA, 2017). Esse desenvolvimento poder ser observados nas figuras 8,9,10.

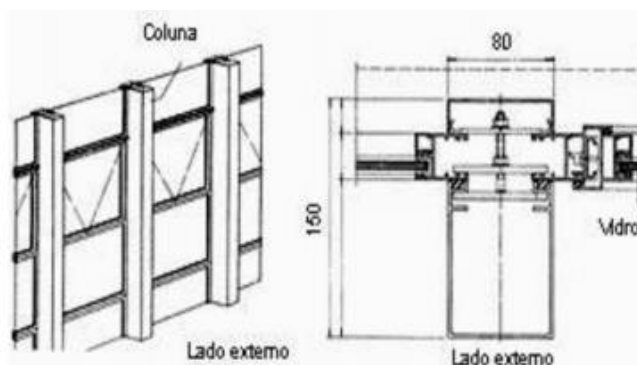


Figura 8 - Esquadrias de alumínio com colunas expostas.  
(Fonte: SISTEMAS, 2005)

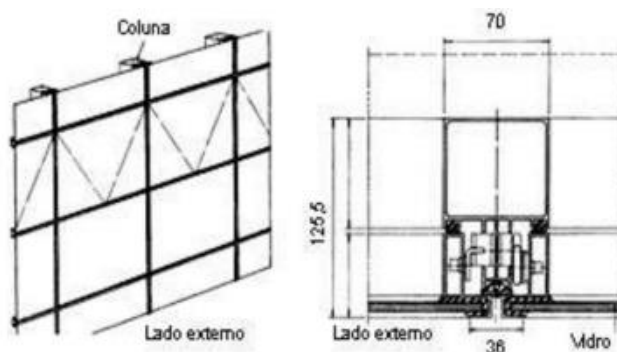


Figura 9 - Esquadrias de alumínio não muito aparente, pele de vidro original.  
(Fonte: SISTEMAS, 2005)

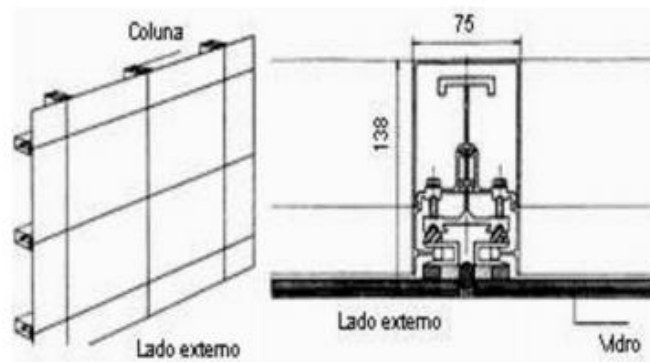


Figura 10 - Esquadrias de alumínio encoberta pele de vidro structural glazing.  
(Fonte: SISTEMAS, 2005)

#### 4.1 Sistema *Stick*

No sistema *Stick* o vidro é fixado por cima do perfil de alumínio, encobrindo toda a estrutura que a sustenta isso permite um envidraçamento com menos elementos metálicos aparentes, como mostrados nas figuras 11,12, PIEROZAN, 2016.



Figura 11 – Fachada sistema *Stick*  
(Fonte: ABRAVIDRO, 2018)

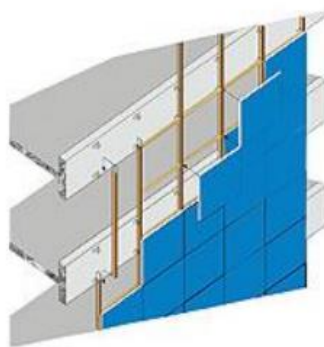


Figura 12 – Esquema de montagem fachada *Stick*  
(Fonte: ROSSO, 2007)

Segundo Arruda, 2010 o sistema *stick*, disponível no mercado desde a década de 1960, tem uma instalação processada peça a peça com o auxílio de andaimes fachadeiros, balancins e/ ou máquinas *Skytrak* e plataformas de elevação. Inicialmente são instaladas as colunas (elementos verticais), seguido pelas travessas (elementos horizontais), os painéis compostos (quando houver) e por fim as folhas de vidro sejam elas móveis ou fixas. Esse sistema foi largamente empregado na execução das primeiras fachadas cortina e ainda é bastante utilizado com versões melhoradas e de alto desempenho, como os sistemas *Stick* com pele de vidro e sistemas *Stick* com *structural glazing*.

#### 4.2 Sistema Unitizado

Construído por módulos completos que se fixam nas estruturas do projeto. Formado por perfil, travessas, colunas e vidro que poder ser colado com silicone estrutural ou fita adesiva dupla face, elaborada para a fixação de perfis de alumino, conforme os exemplos das figuras 13, 14, (PIEROZAN 2016).



Figura 13 - Sistema unitizado  
(Fonte: ROSSO, 2018)

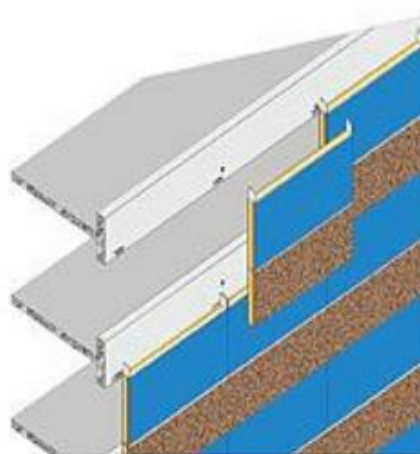


Figura 14 - Esquema de montagem do sistema unitizado.  
(Fonte: ROSSO, 2007)

Para Potiguara, 2017 o sistema Unitizado, é caracterizado pela produção de módulos completos montados em fábrica que consiste que correspondem à altura do pé-direito do pavimento e à modulação horizontal da esquadria, recebendo todos os elementos de vedação e acabamento da fachada já instalada, contemplando, colunas, travessas, borrachas, vidros, parafusos e demais acessórios.

Na Figura 15, temos um quadro resumindo os dois sistemas de montagem mais utilizados no mercado de fachadas pele de vidro.

<b>SISTEMA STICK</b>	<b>PELE DE VIDRO - SIMPLES OU DUPLA</b>
	Os quadros de vidros passam a ser aparafusadas com presilhas, sobrepostos às colunas e travessas. Esses quadros são independentes e podem ser retirados. O sistema foi desenvolvido com o objetivo de reduzir a visibilidade dos perfis de alumínio na fachada do edifício. Com isso, a fachada passa a destacar mais os painéis de vidro, apesar de manter a marcação de linhas horizontais e verticais da caixilharia.
	<b>STRUCTURAL GLAZING</b>
	É a evolução da pele de vidro. Trata-se de um silicone estrutural utilizado para fixação dos painéis. A quantidade e espessura do silicone utilizado são determinados de acordo com a pressão de vento positivos e negativos do local, altura do edifício e linha do perfil utilizado. As colunas e travessas ainda são contínuas e presas à estrutura e a montagem é feita manualmente com o uso de andaimes externos. Intemperais como sol externo e chuva atrapalham a montagem
<b>SISTEMA UNITIZADO</b>	<b>MÓDULOS UNITIZADOS</b>
	A fachada é formada por painéis independentes estruturados com vidro, fixos por meio de ancoragens reguláveis. A fixação pode ser mecânica ou utilizar silicone. O sistema de montagem é mecanizado. É formado por colunas e travessas e dispensa a subestrutura para conter o vidro. Os painéis são totalmente pré-fabricados, o que aumenta o controle tecnológico e garante maior qualidade de fechamento à fachada.

Figura 15 – Resumo dos sistemas de montagem Stick e Unitizado.  
(Fonte: ARRUDA, 2010)

## 5 RISCOS DE INCÊNDIO

Segundo informações da ABNT NBR 13860: 1997, incêndio é "[...] Fogo fora de controle.". A Norma ISO 8421-1: 1987 (*International Organization for Standardization*, 1987; SEITO, 2008,) define incêndio como sendo "[...] a combustão rápida disseminando-se de forma descontrolada no tempo e no espaço".

O fenômeno fogo é resultado da coexistência de quatro elementos: combustível, comburente (oxigênio), calor e reação em cadeia. A teoria do Tetraedro de Fogo representa geometricamente o fogo e seus elementos, como apresentado na figura 16, (SEITO, 2008; CBPM-SP, 2015).



Figura 16 - Tetraedro de Fogo  
(Fonte: CBPM-SP, 2015)

O incêndio, em seu desenvolvimento natural, pode ser dividido em três estágios, conforme ilustrado na figura 17 (SEITO, 2008):

- a) pré-ignição;
- b) crescimento do incêndio;
- c) incêndio desenvolvido.

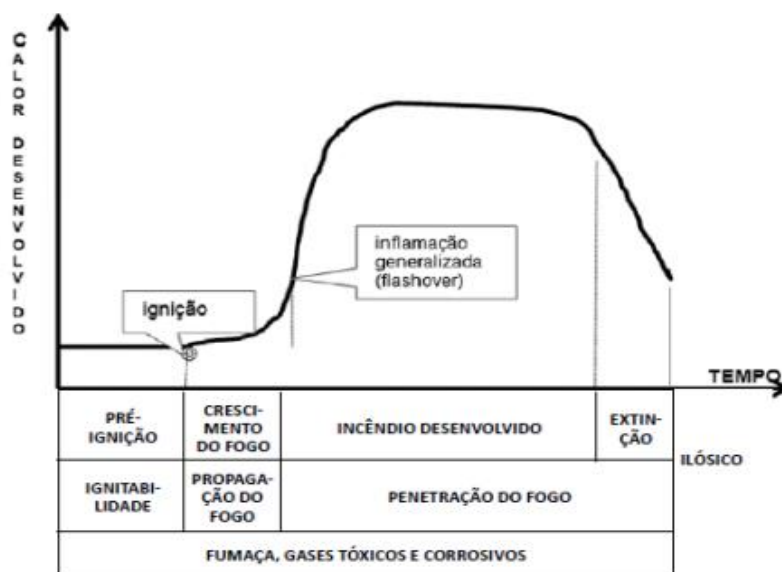


Figura 17 - Curva de evolução do incêndio  
(Fonte: SEITO, 2008)

No estágio de pré-ignição, a combustão é fraca e sem força; com a proximidade da ignição, percebe-se o aumento da combustão e o aparecimento de chamas e fumaça. Após a ignição, ou seja, no estágio de crescimento do incêndio, inicia-se a propagação do fogo no compartimento de origem, elevando a temperatura dele. O estágio do incêndio desenvolvido é caracterizado pela ocorrência do flash-over, ou seja, a inflamação generalizada, quando o compartimento de origem é tomado por chamas e fumaça, o qual pode atingir temperaturas acima de  $1.110^{\circ}\text{C}$ . Nesse estágio, inicia-se, também, a propagação do incêndio para outros compartimentos por meio de aberturas internas, fachadas e cobertura das edificações (SEITO, 2008; CBPMESP, 2015)

De acordo com os regulamentos implementados por muitos países em certos tipos de edifícios (por exemplo, hospitais, hotéis, escolas), bem como em edifícios com altura significativa, as fachadas como elementos do edifício sem carga devem ser projetadas e construídas de tal forma que, em caso de incêndio, limitará a propagação do fogo no interior do edifício (para o piso adjacente ou em casos específicos, na sala adjacente) e no exterior (para os edifícios adjacentes), permitir a evacuação dos usuários e garantir a segurança das equipes de resgate. Além disso, a fixação das paredes cortinas devem ser

feita de forma a impedir a queda das partes do elemento durante as atividades da equipe de evacuação e resgate, (A. GLASS E AL RUBIN, 1978).

Os requisitos detalhados especificados acima não costumam ser considerados individualmente (por exemplo, garantir que a evacuação adequada esteja conectada à capacidade de suporte de carga estrutural, propagação de incêndio e fumaça dentro do edifício e segurança da equipe de resgate); portanto, elementos individuais dos edifícios podem desempenhar várias funções durante um incêndio, (A. GLASS E AL RUBIN, 1978).

Para Campos e Conceição, 2006 a seleção dos sistemas de proteção adequados deve ser feita tendo por base os riscos de início de um incêndio, de sua propagação e de suas consequências.

Os riscos de incêndio envolvidos nas fachadas pele de vidro são devidos ao seu sistema construtivo, abordado anteriormente: componentes e sua fixação. Campos e Conceição, 2006 relacionam os riscos de incêndio à tecnologia das fachadas pele de vidro:

- a) a fixação da estrutura de esquadrias de alumínio na supra estrutura do edifício gera frestas entre ambas as estruturas, conforme observado na figura 18 proporcionando a propagação de fogo e fumaça;
- b) o rompimento do vidro durante o incêndio, pois ele tende a deformar em altas temperaturas e pode não resistir ao aumento de pressão, acarretando a entrada de ar externo no ambiente em chamas, proporcionando, assim, a realimentação do incêndio.



Figura 18 – Fresta entre a estrutura de esquadrias e a supra estrutura do edifício.  
(Fonte: CAMPOS e CONCEIÇÃO, 2006)

Para interromper a propagação do fogo para os outros pisos, também é muito importante usar na construção de materiais de fachada com reação adequada à classe de incêndio e limitar a propagação do fogo. A fachada de vidro é a parte mais fraca do revestimento do edifício e pode ser quebrada facilmente quando exposta a um grande incêndio. Isso pode criar uma entrada de gases quentes para a sala do lado de fora, resultando em incêndio no compartimento se espalhando para outros pisos ou salas.

A barreira periférica contra fogo é composta principalmente de dois materiais, conforme ilustrado na figura 19 (CHEN e VICTOR, 2012; VAN DELAN et al., 2004, VEDOVELLO, 2012).

- a) lã de rocha, a qual fornece resistência ao fogo;
- b) selante, o qual impede a penetração de fumaça.



Figura 19 - Barreira periférica contra fogo.  
(Fonte: TOMA, 2012)

Van Delan, 2004 estabelecem que a espessura da barreira periférica, constituída majoritariamente de lã de rocha, dependerá da resistência ao fogo requerida, e a largura dependerá da distância entre a face interna da fachada e a borda da laje, observando que a lã de rocha deve ser instalada comprimida dentro dessa fresta; e o selante é normalmente a base de uretano e autonivelante. Vedovello, 2012 refere-se ao selante aplicado sobre a lã como: "[...] uma argamassa isolante para evitar a passagem de gases quentes."

Chen e Victor 2012 destacam a deformação que o fogo causa aos perfis de alumínio, pois o ponto de fusão do alumínio é 650 °C, e em um compartimento incendiado pode alcançar a temperatura de 1000 °C. Quando há a deformação dos montantes e/ou das travessas da estrutura de esquadria de alumínio, pode ocorrer o colapso da barreira periférica contra fogo, quebrando, assim, a separação entre os pavimentos, conforme ilustrado na figura 20.

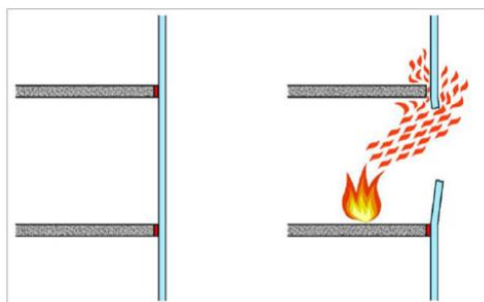


Figura 20 - Colapso da barreira periférica contra fogo ocasionado pela deformação da fachada pele de vidro.  
(Fonte: CHEN e VICTOR, 2012)

## **6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO FOGO EM FACHADAS PELE DE VIDRO**

A duas situações a que devem ser ponderadas no conjunto construtivo de fachada pele de vidro no quesito resistência ao fogo PIEROZAN, 2016:

- a) barreira periférica contra fogo, pois a sua falha quebra a compartimentação vertical, ocasionando a propagação do fogo através do espaço formado entre a fachada pele de vidro e a supra estrutura da edificação;
- b) fachada pele de vidro corta-fogo ou o 'elemento corta-fogo', pois a sua falha quebra a compartimentação horizontal na prática, ocasionando o retorno do fogo propagado pelo lado externo da fachada pele de vidro para o interior da edificação.

Os dois fatos estão descritos nos itens a abaixo: o método de ensaio ASTM E2307, 2015 para a barreira periférica e o ensaio de compartimentação horizontal para a fachada pele de vidro corta-fogo.

### **6.1 Método de Ensaio ASTM E2307**

A norma ASTM E2307, 2015 "[...] descreve os critérios e métodos de ensaio utilizados para determinar a resistência ao fogo das barreiras periféricas contra fogo [...]". Segundo a norma ASTM E2307: 2015; Barreira periférica contra fogo é a proteção da junta periférica, que fornece resistência ao fogo para prevenir a passagem de fogo de um andar para outro no interior da edificação através da abertura entre a parede exterior e a laje. A barreira periférica contra fogo é o único detalhe construtivo não abordado por outros métodos de ensaio de resistência ao fogo.

A barreira periférica contra fogo pertence ao grande grupo dos sistemas de vedação contra fogo, os quais são ensaiados quanto à resistência ao fogo conforme a norma E1966: 2015, (ASTM, 2015).

Porém, o ensaio de resistência ao fogo proposto à barreira periférica contra fogo é único, pois ela é exposta à incidência de fogo em duas direções simultaneamente, vertical e horizontal, devido a sua localização NICHOLAS, 2005.

Segundo a norma E1966 (ASTM, 2015): [...] um requisito do método de ensaio E1966: 2015 é o sistema de vedação ser exposto ao calor e fogo somente em um lado. O ensaio de um sistema de vedação colocado em uma junta periférica localizada entre um piso e uma parede exterior não se destina a ser ensaiado utilizando o método de ensaio E1966: 2015 [...]. O ensaio de um sistema de vedação instalado em uma junta periférica deve ter calor e fogo incidindo embaixo, bem como, na face externa da parede exterior. Este seria o pior cenário de ensaio de resistência ao fogo para um sistema de vedação utilizado em uma junta periférica. O método de ensaio para esse tipo de aplicação é o método de ensaio E2307: 2015.

Pode-se fazer uma analogia entre a norma E1966: 2015 e a NBR 6479: 1992 pois ambas são responsáveis por ensaiar, quanto à resistência ao fogo, componentes de construção destinados à vedação, onde há a incidência de fogo e calor em somente uma direção.

A norma E2307: 2015 (ASTM, 2015) lança mão do aparato de ensaio ISMA (*intermediate-scale multistory test apparatus*) para ensaiar a resistência ao fogo de barreiras periféricas contra fogo, o qual simula a exposição ao fogo submetida a elas. Segundo Nicholas 2005 e conforme ilustrado nas figuras 21 e 22, o método de ensaio E2307: 2015, utilizando o aparato de ensaio ISMA, é constituído principalmente pelos seguintes componentes:

- a) Aparato de ensaio ISMA, o qual é similar a uma edificação de dois andares:
  - Sem uma fachada lateral, para possibilitar a visualização do ensaio;
  - Sem a fachada frontal, pois ela é substituída pela fachada de teste;

- Andar inferior, onde é simulada a origem do incêndio pelo queimador interno;
  - Andar superior, onde é observada a propagação do incêndio através da barreira periférica contra fogo;
- b) Pavimento de teste, o qual simula a supra estrutura do edifício, e é fixado na laje do aparato de ensaio ISMA;
- c) fachada de teste, a qual simula a fachada pele de vidro:
- Janela aberta adjacente ao pavimento inferior;
  - queimador externo posicionado junto à janela aberta;
- d) Barreira periférica contra fogo instalada entre o pavimento de teste e a fachada de teste.



Figura 21 – Método de ensaio E2307/ISMA  
(Fonte: TOMA, 2012)

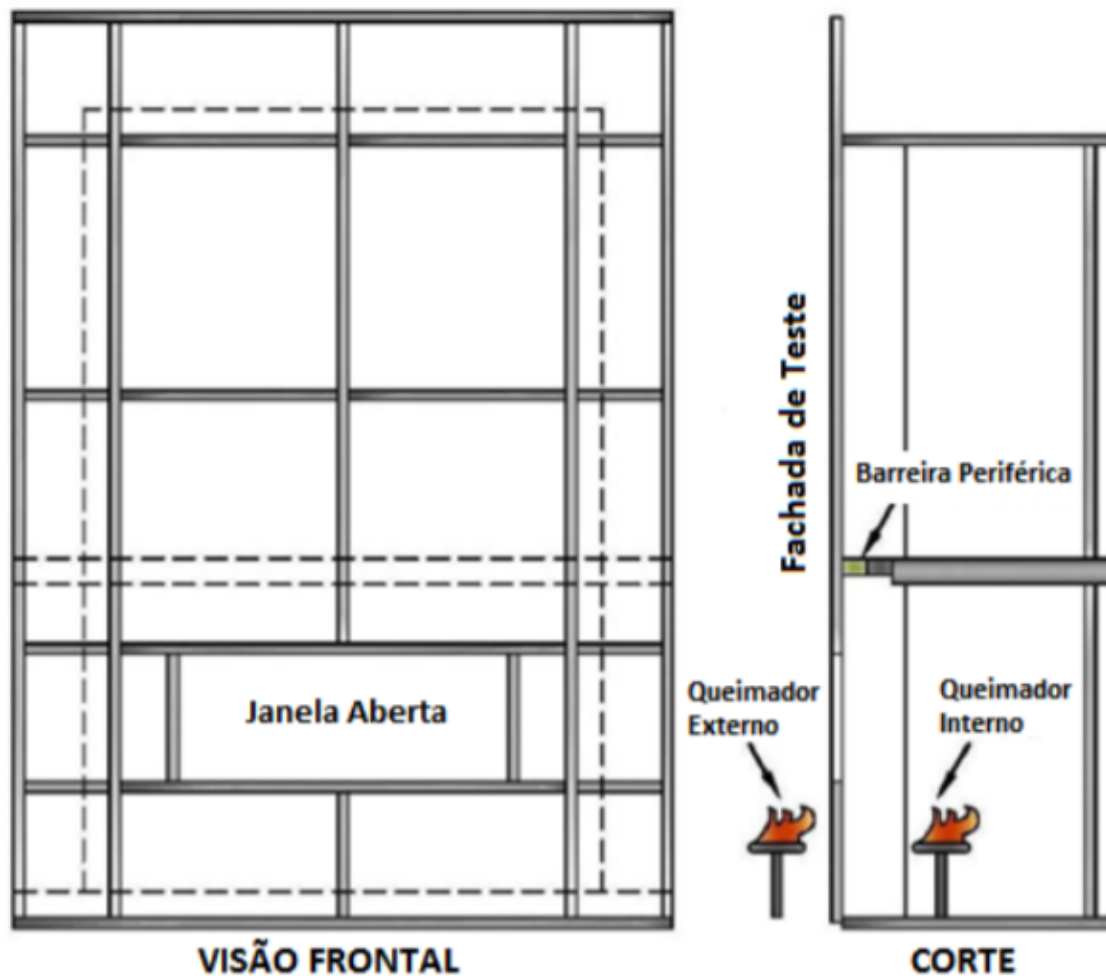


Figura 22 – Componentes do método de ensaio E2307/ISMA  
(Fonte: TOMA, 2012)

## 6.2 Levantamento do Ensaio

De acordo com a norma E2307: 2015 (ASTM, 2015), o pavimento de teste, a fachada de teste e a barreira periférica contra fogo devem ser representativos no que diz respeito a materiais, mão de obra e detalhes, conforme são utilizados na prática e de acordo com as especificações dos fabricantes. A barreira periférica contra fogo deve ser instalada. Em obra, para facilitar o preenchimento das frestas entre a fachada pele de vidro e a supra estrutura da edificação, a lã de rocha é colocada em partes justapostas, gerando, assim, emendas na barreira periférica contra fogo, as quais podem ser consideradas pontos de fraqueza quanto à resistência ao fogo NICHOLAS,

2005. A norma E2307: 2015 (ASTM, 2015) determina que as barreiras periféricas ensaiadas devam conter emendas em sua extensão.

Segundo a norma E2307: 2015 (ASTM, 2015), além de impedir a propagação do incêndio através da junta entre a fachada e a supra estrutura, a barreira periférica contra fogo acomoda vários movimentos provocados pelos seguintes fenômenos naturais:

- a) variação térmica;
- b) atividade sísmica;
- c) cargas de vento.

Devido a isso, após a instalação na fachada de teste e anteriormente ao ensaio de resistência ao fogo no aparato de ensaio ISMA, a barreira periférica contra fogo deve ser submetida ao ensaio de movimentos cíclicos, conforme apresentado na figura 23, o qual é similar a um dos ensaios descritos na norma E1399: 1997 (método de teste padrão para cíclico movimento e medição das larguras mínima e máxima das juntas dos sistemas arquitetônicos.) a fim de simular os fenômenos naturais que ela acomoda na prática NICHOLAS, 2005.



Figura 23 - Ensaio de movimento cíclico  
(Fonte: NICHOLAS, 2005)

O ensaio de movimento consiste, basicamente, em repetir várias vezes o seguinte ciclo: expandir a barreira periférica contra fogo até a sua largura máxima, contrair até a sua largura mínima e retornar a sua largura nominal. Ao término do ensaio de movimentação, a fachada de teste e a barreira periférica são instaladas no aparato de ensaio ISMA; e a barreira periférica deve ser fixada em sua máxima largura, pois essa é a condição de maior vulnerabilidade para o ensaio de resistência ao fogo (ASTM, 2015).

A fachada de teste deve simular a fachada pele de vidro que será utilizada na edificação e conter todos os detalhes construtivos da barreira periférica contra fogo, pois a deflexão e a deformação da fachada influenciam o desempenho da barreira periférica contra fogo (ASTM, 2015; NICHOLAS, 2005). Entretanto, as folhas de vidro adjacentes à barreira periférica contra fogo devem ser retiradas, deixando exposto ao fogo somente o seu isolamento com lã de rocha. Esse é considerado o pior cenário, pois a placa de vidro e a camada de ar entre ela e o isolamento de lã de rocha conferem maior massa térmica à área adjacente à barreira periférica contra fogo (NICHOLAS, 2005).

Segundo Nicholas, 2005 há duas configurações possíveis para a fachada de teste, conforme ilustrado na figura 24:

- a) isolamento da folha de vidro centralizado à janela aberta e ao queimador externo;
- b) montante de alumínio centralizado à janela aberta e ao queimador externo.

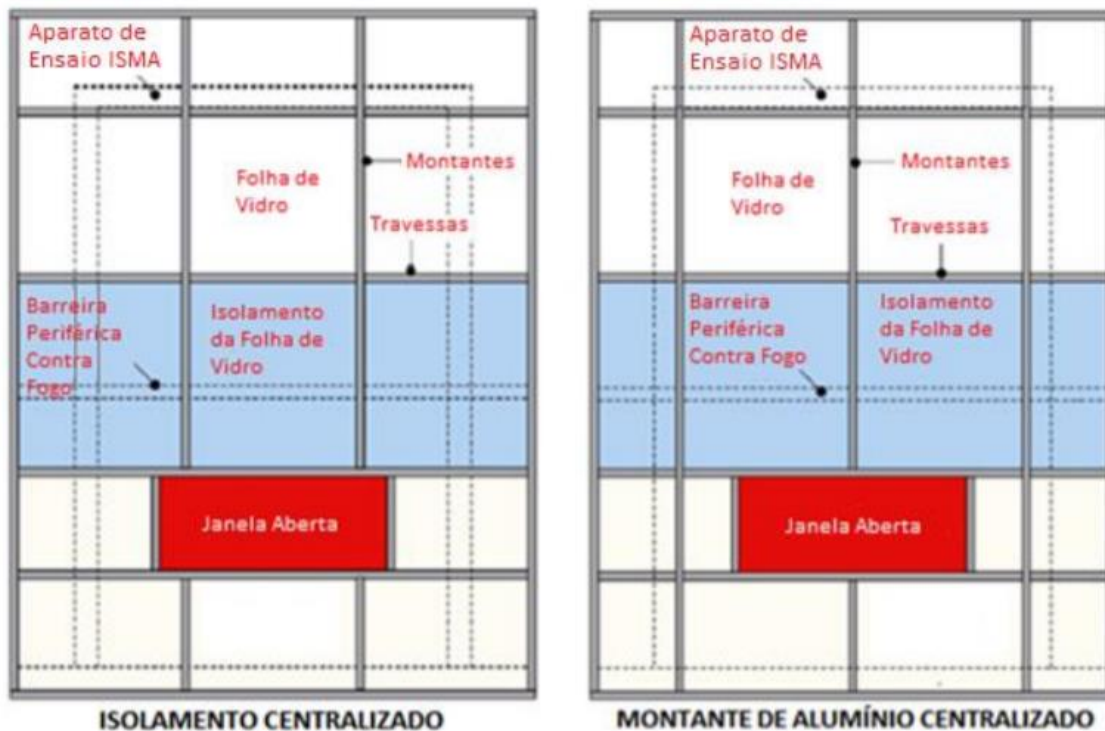


Figura 24 -- Configuração possível à fachada de teste  
(Fonte: NICHOLAS, 2005)

A fachada de teste com o montante de alumínio centralizado à janela aberta e, conseqüentemente, ao queimador externo é a configuração que proporciona o pior cenário para o ensaio de resistência ao fogo a barreiras periféricas contra fogo, por causa dos seguintes motivos (NICHOLAS, 2005):

- a) o calor e fogo gerados pelo queimador externo são direcionados à conexão entre o montante e a travessa de alumínio, conforme apresentado na figura 25, ocasionando uma maior deformação à estrutura de alumínio e possivelmente seu rompimento;
- b) o arqueamento acentuado da travessa de alumínio junto à conexão rompe o isolamento de lã de rocha, conforme apresentado na figura 26, deslocando, assim, a barreira periférica contra fogo, como também, quebrando mais facilmente as placas de vidro acima do isolamento.



Figura 25 – Característica do incêndio gerado pelo queimador externo em uma fachada de teste com o montante de alumínio centralizado  
(Fonte: NICHOLAS, 2005)



Figura 26 - Colapso do isolamento de lã de rocha adjacente à barreira periférica contra fogo  
(Fonte: NICHOLAS, 2005)

### 6.3 Simulação de Incêndio

O método de ensaio E2307: 2015 utiliza-se de dois queimadores para simular, de uma maneira mais realista, as condições de exposição ao fogo a uma barreira periférica contra fogo NICHOLAS, 2005:

- a) queimador interno, o qual simula a origem do incêndio e a incidência de chamas e fumaça diretamente na parte inferior da barreira periférica contra fogo;
- b) queimador externo localizado na janela aberta, o qual simula a propagação do incêndio pelo lado externo da fachada pele de vidro e a incidência de calor e fogo na face externa da fachada e na interface entre a barreira periférica contra fogo e a fachada.

Durante os primeiros 30 minutos de ensaio, a elevação da temperatura é controlada de acordo com a norma E2307: 2015, e é expressa conforme a curva ISMA TEMP ilustrada na figura 27. Após os 30 minutos iniciais, a elevação da temperatura é regulada conforme a curva tempo temperatura descrita na norma E119: 2015, a qual também é ilustrada na figura 27 (ASTM, 2015; NICHOLAS, 2005).

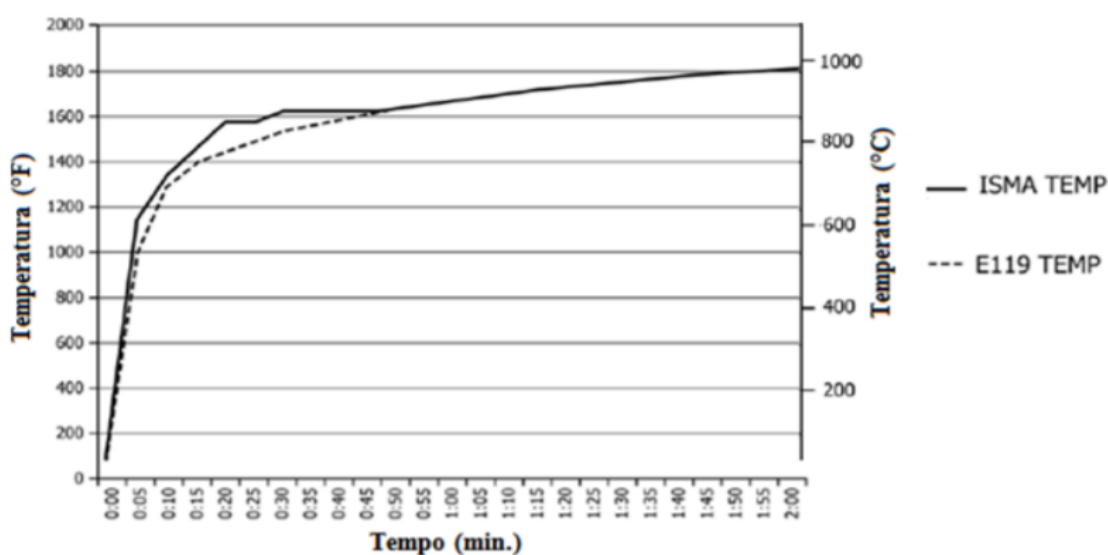


Figura 27 – Curva tempo-temperatura ISMA/E119  
(Fonte: Adaptado da ASTM, 2015)

Segundo Nicholas 2005, o ensaio de resistência ao fogo proposto pela norma E2307: 2015 expõe a barreira periférica contra fogo a uma elevação de temperatura mais rigorosa comparado à norma E119: 2015 nos primeiros 45 minutos; portanto, ensaiar e classificar a barreira periférica contra fogo conforme a norma E1966: 2015 é uma prática questionável.

Observa-se que a norma E1966: 2015 ensaia e classifica os sistemas de vedação contra fogo conforme a elevação da temperatura controlada pela curva tempo-temperatura proposta pela norma E119: 2015 conforme ilustrada na figura 28. Essa prática é similar ao ensaio realizado em selos corta-fogo conforme a NBR 6479: 1992 onde é utilizada a curva padrão de elevação de temperatura em função do tempo, que é análoga a curva tempo-temperatura descrita na norma E119: 2015. Além do fogo e calor incidirem em somente uma direção no método de ensaio descrito na norma NBR 6479: 1992, a intensidade da temperatura nos primeiros 45 minutos é menor em comparação à norma E2307: 2015.

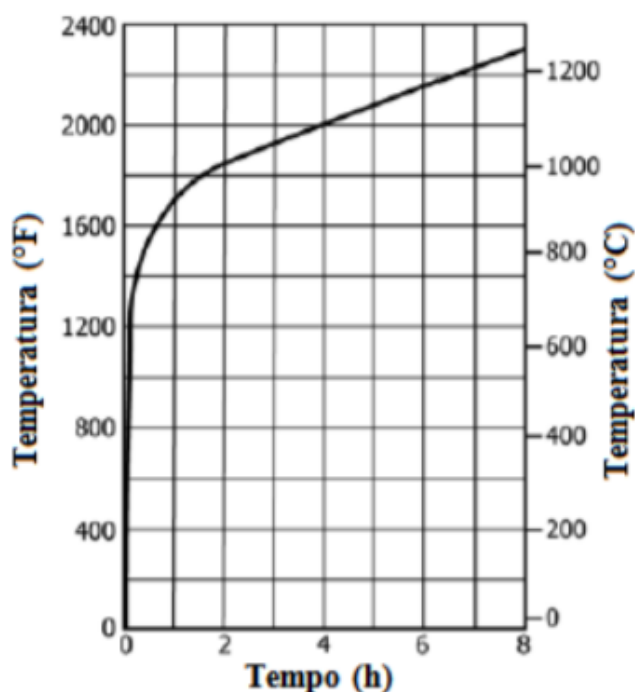


Figura 28 - Curva tempo-temperatura E119  
(Fonte: Adaptado da ASTM, 2015)

## 6.4 Resultados

Segundo a norma E2307: 2015 (ASTM, 2015), o isolamento térmico da barreira periférica contra fogo é determinado a partir da aferição de temperatura no decorrer do ensaio através de termopares instalados na superfície não exposta da barreira periférica contra fogo, conforme apresentado pela figura 29. O grau de isolamento térmico da barreira periférica é a quantidade de tempo passado entre o início das medições até atingir as seguintes condições:

- a) qualquer um dos termopares variar  $181^{\circ}\text{C}$  acima da temperatura inicial;
- b) a média da variação de temperatura de todos os termopares em um determinado tempo não pode ser superior a  $139^{\circ}\text{C}$ .



Figura 29 – Localização de alguns termopares antes do início do ensaio  
(Fonte: TOMA, 2012)

A superfície não exposta ao fogo da barreira periférica contra fogo deve ser observada, a partir do andar superior do aparato de ensaio ISMA, a cada 15 minutos, no máximo, a fim de verificar a integridade e estanqueidade da

barreira periférica contra fogo, conforme visualizado na figura 30. O ensaio termina no instante de tempo que a intensidade de chamas e gases quentes (fumaça), provenientes de buracos, rachaduras ou passantes através da barreira periférica, atear fogo em um chumaço de algodão posicionado próximo a superfície não exposta (ASTM, 2015).



Figura 30 – Superfície não exposta da barreira periférica contra fogo após o término do ensaio (Fonte: TOMA, 2012)

Observa-se que a determinação do grau de resistência ao fogo descrito na norma E2307: 2015 é análoga à NBR 6479: 1992. Ou seja, a barreira periférica contra fogo será classificada como corta fogo, quando, mantendo-se íntegra e estanque, apresentar a característica de isolamento térmico; e será graduada conforme seu desempenho no tempo em minutos, até atingir as mesmas condições da aferição de temperatura previstas na norma E2307: 2015.

### **6.5 Limitações do Ensaio**

Segundo a norma E2307: 2015 (ASTM, 2015), "Este método de ensaio descreve critérios e métodos de ensaio utilizados para determinar a resistência ao fogo das barreiras periféricas contra fogo [...]", ou seja, de acordo com

NICHOLAS, 2005 "A determinação da resistência ao fogo da laje e da parede exterior estão fora do âmbito do presente método de ensaio."

A principal limitação do método de ensaio proposto pela norma E2307: 2015 é a não possibilidade de ensaiar a resistência ao fogo da compartimentação horizontal da fachada pele de vidro exercida pela 'fachada pele de vidro corta-fogo' ou pelo 'elemento corta-fogo', os quais impedem o retorno do incêndio propagado pelo lado externo da fachada ao interior da edificação; pois a intensidade de calor e fogo gerada pelo queimador externo não consegue atingir a magnitude do flash-over de um incêndio real acima do plano da barreira periférica contra fogo NICHOLAS, 2005.

Essa limitação pode ser percebida comparando a intensidade de um incêndio real em uma fachada pele de vidro, que pode ser visualizada figura 1; e a intensidade de fogo gerado pelo queimador externo, conforme apresentado na figura 25. Tendo em vista essa limitação, o ensaio da barreira periférica contra fogo deve ser combinado com o ensaio de resistência ao fogo da fachada de teste conforme a norma E119: 2015 para promover a compartimentação horizontal da fachada pele de vidro; assim todo o sistema construtivo da fachada será resistente ao fogo NICHOLAS, 2005.

Segundo descrito na norma E119 (ASTM, 2016): [...] os métodos de ensaio descritos nesta norma de resistência ao fogo são aplicáveis a unidades de alvenaria e elementos compostos de materiais estruturais para edifícios, incluindo paredes estruturais e outras paredes e divisórias, colunas, vigas, lajes [...]. Eles são também aplicáveis a outros conjuntos e unidades estruturais que constituem partes integrantes permanentes de um edifício acabado.

Pode-se fazer uma analogia entre a norma E119: 2015 e a NBR 10636: 1989. Porém, a NBR 10636: 1989 somente ensaia, quanto à resistência, ao fogo, paredes de compartimentação sem função estrutural, que é o caso das fachadas pele de vidro.

Anteriormente ao ensaio da barreira periférica contra fogo, acredita-se ser recomendável ensaiar, quanto à resistência ao fogo, um corpo de prova referente ao sistema de compartimentação horizontal das fachadas pele de

vidro pela NBR 10636: 1989. Pois, assim, esse sistema de fachada ensaiado pela NBR 10636: 1989 poderá servir como base para a construção de um novo corpo de prova para o ensaio E2307: 2015, ou seja, a fachada de teste, a fim de garantir maior veracidade ao ensaio da barreira periférica contra fogo.

### 6.6 Ensaio de Compartimentação Horizontal

O procedimento para determinar a resistência ao fogo da compartimentação horizontal na prática de fachadas pele de vidro é descrito na norma NBR 10636: 1989 a partir dos itens a seguir, e conforme exemplificado na figura 31 (ABNT, 1989):

- a) aparelhagem;
- b) execução do ensaio;
- c) resultados.



Figura 31 – Ensaio de resistência ao fogo em unidade envidraçada  
(Fonte: OLIVEIRA, 2016)

De acordo com as instruções do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (2015), há duas possibilidades para impedir o retorno do incêndio propagado na face externa da fachada ao interior da edificação:

a) fachada pele de vidro corta-fogo

b) elemento corta-fogo

A NBR 10636: 1989 (ABNT: 1989) ressalta que o corpo de prova, referentes às duas possibilidades de compartimentação horizontal, deve ser representativo à prática em obra. Entenda-se que o corpo de prova deva conter todos os componentes de uma fachada pele de vidro resistente ao fogo: estrutura de esquadrias de alumínio, sistema de fixação, folhas de vidro ou isolamento da folha de vidro. O Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (2015) indica, em fachadas pele de vidro não corta-fogo, a adoção de parapeito corta-fogo de no mínimo 1,2 metros de altura entre dois pavimentos. Acredita-se que tal exigência pode ser estendida a fachadas pele de vidro corta-fogo, ou seja, somente o trecho da fachada pele de vidro com altura de no mínimo 1,2 metros localizado entre dois pavimentos consecutivos deve ser corta fogo.

Em fachadas pele de vidro não corta-fogo, lança-se mão do isolamento da folha de vidro adjacente a supra estrutura do edifício como elemento corta-fogo, o qual é constituído basicamente por lã de rocha. Segundo Nicholas, 2005 o corpo de prova representativo não deve conter as folhas de vidro, pois elas podem proporcionar maior resistência ao fogo para o corpo de prova; ensaia-se, assim, o pior cenário, ou seja, expondo o isolamento de lã de rocha diretamente ao fogo.

Em fachadas pele de vidro corta-fogo, não é necessário que o isolamento da folha de vidro adjacente à supra estrutura da edificação tenha uma altura mínima de 1,2 metros; pois é a própria fachada (folhas de vidro, estrutura de alumínio, sistemas de fixação) que desempenha a função corta-fogo nesse trecho de 1,2 metros entre pavimentos consecutivos. Acredita-se, também, que a espessura da lã de rocha do isolamento seja menor nessa situação, quando comparada com a espessura do isolamento em fachadas pele de vidro não corta-fogo; pois o isolamento da folha de vidro em fachadas pele de vidro corta-fogo constitui os detalhes construtivos da barreira

periférica contra fogo, portanto a espessura e altura do isolamento serão determinadas no ensaio de resistência ao fogo conforme a norma E2307: 2015.

## 7 ANALOGIA ENTRE AS NORMAS DE SEGURANÇA CONTRA O FOGO FRANCES A E BRASILEIRA

Conforme Oliveira, 2009 os elementos de fachada, considerando como elementos de compartimentação, devem apresentar resistência ao fogo por um período de tempo suficiente para possibilitar a saída dos ocupantes da edificação em condições de segurança e para evitar danos a edificações adjacentes. Assim, esses elementos em situações de incêndio devem apresentar estabilidade, não devem permitir a passagem de fogo e fumaça por entre seus componentes e juntas, e devem isolar a alta temperatura da sua face interna da externa.

Na França, os requisitos de segurança contra incêndio de fachadas leves são expressos por: reação ao fogo dos componentes da fachada, resistência ao fogo de elementos da fachada, resistência ao fogo dos dispositivos de fixação, garantia da compartimentação vertical e isolamento com relação aos edifícios vizinhos. No Brasil, esses requisitos também são abordados pela legislação, conforme figura 32 abaixo.

Requisitos	Critérios de Desempenho	
	França (Cahier du CSTB 2383, 1990; Cabinet Casso et Cia, C3280, 2004	Brasil (CB - Decreto Estadual SP 46076/2001 - IT08/04; CB - IT10,2004; CB IT 09,2004)
Reação ao fogo dos componentes	As camadas externas das fachadas devem ser projetadas com componentes de revestimento classe M2 para edifícios com $h < 28$ m, e classe M0 para edifícios com $h \leq 28$ m, sendo os materiais classificados em: M0 (incombustíveis), M1, M2, M3, M4 ( grau crescente de combustibilidade)	Os materiais de revestimento e isolamento das faces externas da fachada devem ser classificados como Classe I (incombustível) a Classe II-B (combustível com $l_p < 25$ – ver na figura 33). Exigência para edificações com área construída maior 750 m <sup>2</sup> , ou altura maior que 12m. Os materiais transparentes das esquadrias devem ser

		incombustíveis; exceção feita aos vidros laminados.
<b>Resistência ao fogo do elemento de fachada</b>	Os elementos de fachada, quando considerados elementos de compartimentação, devem ser classificados como corta-fogo 1 hora para edifícios cuja $h \leq 28$ m, e 2 horas para edifícios com $h > 28$ m	Os elementos de compartimentação, incluindo elementos de fachada e selagens de shafts, devem apresentar resistência ao fogo (TRRF), no mínimo, igual ao da estrutura principal, não podendo ser inferior a 60 minutos. Essa é uma exigência para edifícios com área construída maior que $750\text{m}^2$ , ou altura maior que 12m. O TRRF é determinado em função do tipo de ocupação e da altura da edificação, como exemplifica a figura 34.
<b>Resistência ao fogo dos dispositivos de fixação †</b>	A fixação deve apresentar um tempo mínimo de resistência ao fogo, que é função da resistência ao fogo especificada para o elemento de fachada, devendo ser no mínimo de 1 hora.	As fachadas pré-fabricadas devem ter seus dispositivos de fixação devidamente projetados contra a ação do incêndio.

<p><b>Garantia* da compartimentação vertical</b> (as fachadas não devem constituir um meio de propagação do fogo para os pavimentos superiores nem para as edificações vizinhas)</p>	<p>Deve existir separação na fachada entre aberturas de pavimentos consecutivos, por meio de vigas e peitoris C, ou prolongamento de lajes além do alinhamento da fachada D: a soma das dimensões C+D deve ser &gt;1m (para edifícios com <math>h \leq 28m</math>). Os componentes incluídos na avaliação do C devem ser pelo menos para-chamas 1/2 horas (ver esquema na Figura 35)</p>	<p>Devem existir separação na fachada entre aberturas de pavimentos consecutivos, que podem ser parapeitos ou prolongamento de lajes (abas). Os peitoris devem ter altura &gt;1,2m (Figura 36), ou as abas terem 0,9m de comprimento (Figura 37). Além disso, as fretas entre elementos da estrutura devem ser devidamente selados, de forma a evitar a propagação do fogo por entre as juntas entre pavimentos.</p>
<p><b>Isolamento com relação aos edifícios vizinhos</b></p>	<p>1) para edifícios cuja altura é menor que 28m: os edifícios vizinhos devem estar distantes 8,0m da fachada do edifício, caso contrário a fachada do edifício deve ser corta-fogo de 1,0 ou 2,0 horas (dependendo da classe de uso e ocupação do edifício), e ainda respeitar as regras C+D. 2) para edifícios cuja altura é maior que 28m, os edifícios devem estar distantes de 8,0m, caso contrário tanto a fachada do edifício deve apresentar resistência ao fogo de 2,0 horas quanto o próprio edifício vizinho deve ser para-chamas de 2,0 horas (ver esquema Figura 38)</p>	<p>As instruções técnicas do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo estabelecem relações e equações, cujos resultados estabelecem regras com relação ao isolamento aos edifícios vizinhos. Entretanto, como esse critério não é claro, sua aplicação é dificultada.</p>
<p><b>Acessibilidade ao edifício pela fachada</b></p>	<p>Prevê acesso para entrada do Corpo de Bombeiros pela fachada, respeitando as</p>	<p>***</p>

	imposições do Corpo de Bombeiros.
--	-----------------------------------

Figura 32 - Comparação entre critérios de segurança contra o fogo francesa e brasileiros  
(Fonte: OLIVEIRA, 2009)

Segundo a normativas Francesa, as camadas externas das fachadas devem ser projetadas com componentes de revestimento classe M2 para edifícios com  $h < 28$  m, e classe M0 para edifícios com  $h \leq 28$  m, sendo os materiais classificados em: M0 (incombustíveis), M1, M2, M3, M4 ( grau crescente de combustibilidade), conforme indicado na figura 33, (OLIVEIRA, 2009).

Método de Ensaio Classe		ISO 1182	NBR 9442
I		Incombustível	**
II	A	Combustível	$l_p < 25$ / (classe A)
	B	Combustível	$l_p < 25$ / (classe A)
III	A	Combustível	$25 < l_p < 75$ / (classe B)
	B	Combustível	$25 < l_p < 75$ / (classe B)
IV	A	Combustível	$75 < l_p < 150$ / (classe C)
	B	Combustível	$76 < l_p < 150$ / (classe C)
V	A	Combustível	$150 < l_p < 400$ / (classe D)
	B	Combustível	$151 < l_p < 400$ / (classe D)
VI		Combustível	$l_p > 400$ / (classe E)

**l<sub>p</sub>** = Índice de propagação de chamas

Figura 33 - Classificação dos materiais conforme velocidade de propagação de chamas (CB – IT10, 2004)  
(Fonte: OLIVEIRA, 2009)

Deve existir separação na fachada entre aberturas de pavimentos consecutivos, por meio de vigas e peitoris C, ou prolongamento de lajes além do alinhamento da fachada D: a soma das dimensões C+D deve ser  $>1$ m (para edifícios com  $h \leq 28$ m). Os componentes incluídos na avaliação do C devem ser pelo menos para-chamas 1/2 horas, ver esquema na Figura 34, OLIVEIRA, 2009.

Grupo	Ocupação/Uso	Altura da edificação (m)			
		Classe P3 $12 \leq h \leq 23$	Classe P4 $23 \leq h \leq 30$	Classe P5 $30 \leq h \leq 80$	$h > 80$
<b>B</b>	Serviços de hospedagem	60	90	120	CT
<b>C</b>	Comercial varejista	60	90	120	CT
<b>D</b>	Serviços profissionais e técnicos	60	90	120	CT
<b>E</b>	Educacional	60	90	120	CT

**CT = Verificar junto a comissão técnica do CBPMES**

Figura 34 - TRRF para elementos estruturais e de compartimentação (adaptado de CB – IT08/04)

(Fonte: OLIVEIRA, 2009)

Devem existir separação na fachada entre aberturas de pavimentos consecutivos, que podem ser parapeitos ou prolongamento de lajes (abas). Os peitoris devem ter altura  $>1,2\text{m}$  (Figura 36), ou as abas terem  $0,9\text{m}$  de comprimento (Figura 37). Além disso, as fretas entre elementos da estrutura devem ser devidamente selados, de forma a evitar a propagação do fogo por entre as juntas entre pavimentos, (OLIVEIRA, 2009).

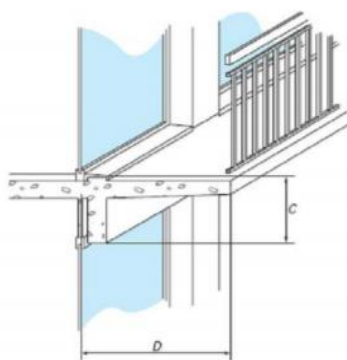


Figura 35 - Esquema da regra C + D  
(Fonte: OLIVEIRA, 2009)

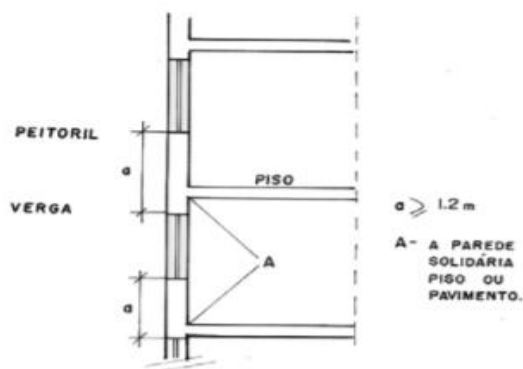


Figura 36 - Compartimentação vertical – verga e peitoril (CB – IT09, 2001)  
(Fonte: OLIVEIRA, 2009)

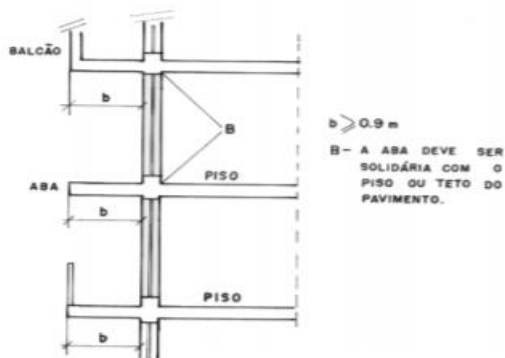


Figura 37 - Compartimentação vertical – projeção da laje (CB – IT09, 2001)  
(Fonte: OLIVEIRA, 2009)

Para edifícios cuja altura é menor que 28 (m) metros os edifícios vizinhos devem estar distantes 8,0m da fachada do edifício, conforme figura 38, (OLIVEIRA, 2009).

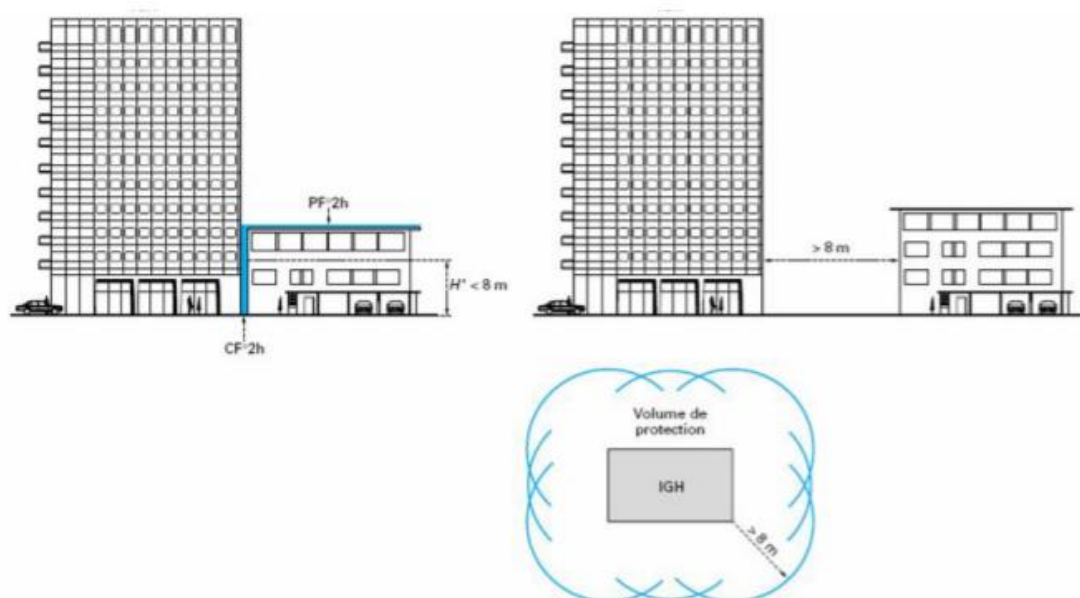


Figura 38 - Isolamento com relação aos edifícios vizinhos  
(Fonte: OLIVEIRA, 2009)

## 8 CONCLUSÃO

Com a realização da pesquisa bibliográfica, constatamos uma escassez trabalhos de graduação, artigos científicos e normas referentes a resistência ao fogo em fachadas pele de vidro, sendo necessário á utilização de normatização internacional mais especifica sobre o assunto.

Analisando as recomendações nacionais feitas pelo Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo e as Normas NBR 6479: 1992 e NBR 10636: 1898 em sincronia com a comunidade internacional com a Norma ASTM E2307: 2015, observamos que o método de ensaio descrito na NBR 6479: 1992 não está habilitado para ensaiar, quanto à resistência ao incêndio, barreiras periféricas contra fogo, e garantir a compartimentação vertical em fachadas pele de vidro, pois expõe a barreira periférica a uma incidência linear de fogo, ou seja, somente na direção vertical; enquanto que a barreira periférica contra fogo sofre a incidência de fogo em duas direções: vertical e horizontal, por causa da sua contato com a fachada pele de vidro.

A *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, percebendo a dificuldade em reproduzir o incêndio submetido às barreiras periféricas contra fogo, desenvolveu a Norma E2307: 2015 especialmente para ensaiar a resistência ao fogo de barreiras periféricas. O parapeito corta-fogo, utilizado na compartimentação de fachadas pele de vidro, é, possivelmente, ineficaz; sendo capaz de tornar-se um grande vilão em casos de incêndio. E, além do mais, não foi identificado nenhum trabalho científico que demonstre a efetividade dessa solução proposta pelo Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo. As edificações com fachada envidraçada, quanto à resistência ao fogo, de acordo com as propostas do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, não seriam consideradas seguras contra incêndio nas normativas internacionais.

Que as exigências da normatização brasileira apresentam vários pontos convergentes com as normatizações francesas, em particular no que diz respeito a necessidade de proteção dos dispositivos de fixação, à selagem das juntas e à incorporação de detalhes construtivas como peitoris ou projeção da laje para impedir a propagação do fogo entre pisos. Contudo, a normatização

francesa referência as exigências de resistência ao fogo para elementos de fachada de qualquer edifício, independentemente da sua área construída, ou altura. Já as normatizações brasileiras apresentam exigências somente para edifícios que tenham área edificada maior que 750 m<sup>2</sup>, ou altura superior a 12 (m) metros. A normatização francesa considera também a acessibilidade ao Corpo de Bombeiros com um ponto importante a ser levado em conta nos projetos, que podem interferir no projeto do edifício, visto que para edifícios de altura superior a 28 (m) metros, o projeto deve se atentar que os bombeiros possam acessar o edifício por meio das fachadas.

Sugerimos os órgãos competentes, que se atentem ao fato da escassez de normas referentes ao perigo eminente de partes de fachadas envidraçadas caírem em decorrência de um incêndio, deixamos como sugestão para trabalhos futuros o aprofundamento dos estudos referente ao assunto abordado nesse trabalho.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alumínio e suas ligas – Produtos trabalháveis – Designação das têmperas – Normas – Disponível em: <[www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/27735/abnt-nbriso2107-aluminio-e-suas-ligas-produtos-trabalhveis-designacoes-das-temperas](http://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/27735/abnt-nbriso2107-aluminio-e-suas-ligas-produtos-trabalhveis-designacoes-das-temperas)> - Acessado em: 08 de out. de 2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E119: standard test method for fire tests of building construction an materials. Philadelphia, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E1399: standard test method for cyclic movement and measuring the minimum and maximum joint widths of architectural joint systems. Philadelphia, 1997.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E1966: standard test method for fireresistive joint systems. Philadelphia, 2015

ARRUDA, Tiago Schnorr de. “Estudos de Modalidades para a Execução de Fachada Cortina”. Rio de Janeiro, RJ. Monografia de Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10636: paredes divisórias sem função estrutural – determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 1989.

CAMPOS, A. T.; CONCEIÇÃO, A. L. S. da. Manual de segurança contra incêndio e pânico: proteção passiva. Brasília: Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, 2006.

CHEN, K. M. G.; VICTOR, F. Curtain wall firestop review of code requirement and design issues. GHJ Consultants LTD, Vancouver, Oct. 2012. Disponível em: . Acesso - 23/09/2019.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. Instrução Técnica nº 02: conceitos básicos de segurança contra incêndio. São Paulo, 2015a.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. Instrução Técnica nº 02: conceitos básicos de segurança contra incêndio. São Paulo, 2015a.

Edifícios com fachadas de vidro geram alto impacto ambiental – Jornal da USP – Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-ambientais/edificios-com-fachadas-de-vidro-geram-alto-impacto-ambiental/> - Acessado em 01 de fev. de 2020.

Fachadas em Pele de Vidro – Revista Vidro Impresso, 24 de Ago. de 2018 – Disponível em: <<https://vidroimpresso.com.br/noticia-setor-vidreiro/fachadas-em-pele-de-vidro>> - Acessado em 14 de set. de 2019.

Fire safety for high-rise buildings: The role of communications – Disponível em <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCAL7980404523> – Acessado em: 03 de dez. de 2019.

Flashover – Disponível em <https://www.bombeiros.pt/wp-content/uploads/2013/06/FlashOver-BVPacosdeSousa.pdf> - Acessado em: 01 de fev. de 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8421-1: general terms and phenomena of fire. Genève, 1987.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8421-1: general terms and phenomena of fire. Genève, 1987.

MENEGHESSO, Adeal Antônio. “Noções Básicas sobre Processo de Anodização do Alumínio e suas Ligas – Partes 1 a 13”. Artigo Técnico para a revista “Conjuntura & Planejamento” dividido nas edições 11<sup>a</sup> (2006), 13<sup>a</sup> (2007), 15<sup>a</sup> (2007), 16<sup>a</sup> (2007), 17<sup>a</sup> (2007), 18 (2007), 19<sup>a</sup> (2008), 20<sup>a</sup> (2008), 22<sup>a</sup> (2008), 23<sup>a</sup> (2008), 24<sup>a</sup> (2008), 25<sup>a</sup> (2009) e 26<sup>a</sup> (2009).

NBR 10821-1: esquadrias externas para edificações – parte 1 – terminologia. Rio de Janeiro, 2011a.

NBR 10821-1: esquadrias externas para edificações – parte 1 – terminologia. Rio de Janeiro, 2011a.

New fire safety norms for existing glass facade building – Distilinfo Safety, 13 de jan. de 2015. – Disponível em: <<https://www.distilinfo.com/safety/2015/01/13/new-fire-safety-norms-for-existing-glass-facade-buildings>> - Acessado em 23 de set. de 2019.

Normas Técnicas 02/2014 – Conceitos básicos de segurança contra incêndio – Disponível em [https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2014/03/nt-02\\_2014-conceitos-basicos-de-seguranca-contra-incendio1.pdf](https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2014/03/nt-02_2014-conceitos-basicos-de-seguranca-contra-incendio1.pdf) - Acessado em: 06 de nov. de 2019.

O segredos por trás das fachadas – Abravidro – Revista Vidro Plano, 29 de Jan. de 2018 – Disponível em: <<https://abraavidro.org.br/os-segredos-por-tras-das-fachadas>> - Acessado em 21 de set. de 2019.

Oliveira, Luciana Alves de. Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachada leves / L.A. de Oliveira. -- ed.rev. – São Paulo,2009.

OLIVEIRA, Luciana Alves de. Metodologia para desenvolvimento de projetos de fachadas leves. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2009.

Pele de Vidro – Tudo o que precisa saber em 4 dicas - Construindodecor - Acesso em: dez. de 2019. Disponível em: <<http://construindodecor.com.br/pele-de-vidro/>>

PIEROZAN, Jean Carlos. Procedimento para Avaliação da Resistência ao Fogo em Fachadas Pele de Vidro Porto Alegre: DECIV/EE/UFRGS, 2016.

POTIGUARA, Luiz Guilherme Pereira. “Fachadas Cortina: Processo Construtivo e Patologias Associadas”. Rio de Janeiro, RJ. Monografia de Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

ROSSO, S. Cortina de vidro: o que considerar no projeto de fachada-cortina e como evitar sobrecarga de ar-condicionado. Revista Técnica. São Paulo, ano 15, n. 122, p. 42-50, maio 2007. – (acessado em 21/09/2019)

ROSSO, S. Cortina de vidro: o que considerar no projeto de fachada-cortina e como evitar sobrecarga de ar-condicionado. Revista Técnica. São Paulo, ano 15, n. 122, p. 42-50, maio 2007. – (acessado em 21/09/2019)

SEITO, A. I. Fundamentos do fogo e incêndio. In: SEITO, A. I. et al.A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008, cap. IV, p. 35-54.

Sistemas de Fachadas – Arcoweb/Finestra – Disponível em : <<https://www.arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/sistemas-de-fachadas-01-05-2005>> - Acessado em: 06 dez. de 2019.

SISTEMAS de fachadas: desenvolvimento tecnológico marca evolução do setor. Finestra. São Paulo, ano 10, n. 41, p. 52-67. Acessado em 21/09/2019 –

SOUZA, J. Alternativas Tecnológicas para Edificações. São Paulo: Pini, 2008.

Structural Glazing (Pele de Vidro) – Aplastec – Disponível em:  
<<https://www.aplastec.com.br/structural-glazing/>> - Acessado em: 01 dez. de 2019.

TOMA, A. Curtain Wall Fire Protection System. In: SAFETY DESIGN IN BUILDINGS FORUM, 2012, Dubai. Anais... Hilti. Não paginado. Disponível em:. Acesso 23/09/2019.

VAN DALEN, 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.

VEDOVELLO, C. A. da S. Gestão de projetos de fachadas. 2012. 406f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.