



MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

A PROBLEMÁTICA DAS FACHADAS NA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS: UMA ANÁLISE APÓS O INCÊNDIO DA TORRE GRENFELL

Vitor Nairo Sousa Aguiar Lira

(Dissertação escrita em português do Brasil)

Orientador: Professor Doutor Miguel Jorge Chichorro Rodrigues Gonçalves (Professor Auxiliar) - FEUP

Coorientador: Professor Gonçalo Manuel Fernandes Perestrelo (Assistente Convidado) – FEUP

Arguente: Doutora Susana Patrícia Bastos de Sousa (Investigador) - INEGI

Presidente do Júri: Professor Doutor Mário Augusto Pires Vaz (Professor Associado com Agregação) - FEUP

2023



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt

ISN: 3599*654



Telefone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Eletrónico: feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Tadeu Nairo e Maria Lúcia, que continuam me apoiando mesmo estando tão distantes, sem eles nada disso seria possível.

A minha irmã Lara, todas as conversas até tarde, o apoio, e as contribuições foram fundamentais durante estes últimos 2 anos. Ter estes momentos foi o que me manteve firme.

A minha amiga Manuella, que nem um oceano de distância foi capaz de reduzir nossa amizade.

A todos os outros que fizeram parte desta jornada. Embarcar nesta aventura foi como um tiro no escuro e sem o apoio de todos que passaram por ela tudo seria muito mais difícil.

Aos meus orientadores Eng.º Miguel Gonçalves Eng.º Gonçalo Perestrelo. A ajuda, ensinamentos e contribuições foram indispensáveis para me trazer até aqui.

DESTAQUES

1. O incêndio na Torre Grenfell trouxe destaque para a problemática de incêndios em fachadas.
2. O número de incêndio em fachadas com materiais combustíveis possui tendência crescente.
3. As legislações atuais ainda não são capazes de prevenir os riscos associados.
4. Os ensaios em escala real atualmente são o meio de prevenção mais utilizado.
5. Vem sendo realizada a proibição do uso de materiais combustíveis em fachadas.

HIGHLIGHTS

1. The Grenfell Tower fire brought attention to the issue of fires in facades.
2. The number of fires in facades with combustible materials is trending upwards.
3. Current regulations are still unable to prevent associated risks.
4. Full scale tests are currently the most used means of prevention.
5. The prohibition of the use of combustible materials in facades is being implemented.

RESUMO

A demanda pela redução do consumo de energia em edifícios tem levado ao uso de materiais novos materiais para melhorar o isolamento térmico nas fachadas. No entanto, pesquisas mostram que estes materiais possuem características combustíveis e têm um papel significativo na propagação das chamas em fachadas, aumentando os riscos associados à incêndio no exterior dos edifícios.

Eventos como o trágico incêndio na Torre Grenfell evidenciou as falhas de projeto e que estes materiais são inadequados para serem utilizados nas fachadas, pois resultam em rápida propagação do fogo. Este cenário vem repetindo e as demandas por mudança são cada vez mais frequentes.

Esta dissertação tem como objetivo examinar a legislação de Segurança Contra Incêndio em Edifícios, avaliando sua adequação às necessidades atuais. Além disso, são analisados casos de incêndios em fachadas, suas causas e as medidas implementadas após os acidentes.

Por meio de uma revisão bibliográfica, que utiliza a metodologia PRISMA, foram analisados artigos presentes nas bases de dados SCOPUS, INSPEC e Web of Science. O que resultou em uma análise inicial de 74 artigos. Além disto foram realizadas análises em legislações internacionais. O objetivo é contribuir para o aprimoramento da segurança contra incêndios em fachadas de grandes edifícios, visando proteger vidas e propriedades.

Após o levantamento foi identificado que diversos incêndios estão relacionados com a utilização de Painéis Compósitos de Alumínio e Poliestireno Expandido. Além disto, foi verificado que algumas legislações no mundo não apresentam medidas que visam remediar este problema. Além disto, foi observado uma crescente na utilização de ensaios em escala real para analisar o sistema de fachadas.

Assim, se faz essencial revisar a legislação de Segurança Contra Incêndio em Edifícios, implementando medidas que reduzam a propagação do fogo em fachadas. Uma maior utilização de modelagem computacional pode trazer benefícios e economia para solucionar este problema, mas para isto é necessário mais investimento e uma melhoria na qualidade da informação fornecida.

Palavras-chave – fachadas, segurança contra incêndios, materiais combustíveis, reação ao fogo.

ABSTRACT

The demand for energy consumption reduction in buildings has led to the utilization of new materials to enhance thermal insulation in facades. However, research indicates that these materials possess combustible characteristics and play a significant role in the propagation of flames on facades, thereby exacerbating the associated risks of exterior building fires.

Tragic incidents like the Grenfell Tower fire have shed light on design flaws and the unsuitability of these materials for facade applications, as they contribute to the rapid spread of fire. This recurring pattern underscores the urgent need for change.

This dissertation aims to comprehensively examine Building Fire Safety legislation, evaluating its adequacy in addressing current needs. Additionally, it analyses past cases of facade fires, their root causes, and the measures implemented following such incidents.

Through an extensive literature review, using the PRISMA methodology, articles from the SCOPUS, INSPEC and Web of Science databases were analysed. This resulted in an initial analysis of 74 articles. In addition, analyses were carried out on international legislation. The ultimate objective is to contribute to the enhancement of fire safety in the facades of large buildings, with the primary focus of safeguarding lives and protecting properties.

After the review it was identified that several fires are related to the use of Aluminium Composite Panels and Expanded Polystyrene. In addition, it was verified that some legislations in the world do not present measures that aim to remedy this problem. In addition, it was observed a growing use of full-scale tests to analyse the facade system.

Thus, it is essential to review the legislation on Fire Safety in Buildings, implementing measures that reduce the spread of fire on facades. A greater use of computational modelling can bring benefits and savings to solve this problem, but this requires more investment and an improvement in the quality of the information provided.

Keywords: facades, fire safety, combustible materials, fire reaction.

TABLE OF CONTENTS

1	INTRODUÇÃO.....	3
1.1	A PROBLEMÁTICA DA SCI NAS FACHADAS.....	3
1.2	OBJETIVOS.....	5
1.3	METODOLOGIA.....	5
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	7
2	A SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS DE GRANDE ALTURA.....	9
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	9
2.2	INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS DE GRANDE ALTURA	10
2.2.1	Torre Lacrosse.....	10
2.2.2	Hotel Address Downtown	13
2.2.3	Torre Grenfell.....	14
2.2.4	Edifício de apartamentos Neo200	17
2.3	MATERIAIS UTILIZADOS EM FACHADAS	18
2.3.1	Considerações iniciais	18
2.3.2	Tipos de revestimento	19
2.3.3	Tipos de isolamento	22
3	TIPOLOGIAS DE FACHADAS	27
3.1	Fachadas tradicionais.....	29
3.2	Fachadas em ETICS	32
3.3	Fachadas ventiladas	33
3.4	OUTROS TIPOS DE FACHADAS	36
3.4.1	Fachada dupla (cortina em vidro).....	36
3.4.2	Fachada com caixa de ar preenchida.....	37
3.4.3	Painéis sanduíche	38
3.4.4	Fachadas ecológicas	39
4	REAÇÃO E RESISTÊNCIA AO FOGO EM EDIFÍCIOS.....	43
4.1	INTRODUÇÃO.....	43
4.2	COMPARTIMENTAÇÃO DOS RECINTOS	44
4.3	CLASSIFICAÇÃO DOS PRODUTOS.....	47

4.3.1	Enquadramento	47
4.3.2	Reação ao fogo.....	48
4.3.3	Resistência ao fogo	50
4.4	PROPAGAÇÃO DAS CHAMAS EM FACHADAS	52
4.4.1	Considerações iniciais.....	52
4.4.2	Ensaio em escala real e suas limitações em fachadas.....	53
5	ANÁLISE DO QUADRO LEGAL.....	57
5.1	REGULAMENTAÇÃO NACIONAL	57
5.1.1	Considerações iniciais.....	57
5.1.2	Reação ao fogo.....	58
5.1.3	Acessibilidade das fachadas.....	61
5.1.4	Propagação do incêndio pelo exterior.....	62
5.1.5	Edifícios em confronto.....	64
5.1.6	Condições específicas para utilização-tipo XII.....	65
5.2	ANÁLISE DOS DISPOSITIVOS LEGAIS E REGULAMENTAÇÕES INTERNACIONAIS.....	67
5.2.1	Introdução	67
5.2.2	Inglaterra	67
5.2.3	Emirados Árabes Unidos	69
5.2.4	Austrália.....	70
5.2.5	França.....	71
5.2.6	Brasil	72
6	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	75
7	BIBLIOGRAFIA.....	1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. – Frequência de grandes incêndios em fachadas em todo o mundo de 1990 até os dias atuais [5].	3
Figura 1.2 - Incêndio na Torre Grenfell, 14 de junho de 2017 [6]	4
Figura 2.1 - Propagação das chamas a partir do oitavo piso [14]	11
Figura 2.2 - Incêndio no edifício Address Downtown no Dubai [6]	14
Figura 2.3 - Estrutura original da Torre Grenfell	15
Figura 2.4 - a) Incêndio na Torre Grenfell e b) Estrutura após o incêndio [21]	15
Figura 2.5 - Modelo de fachada ventilada com isolamento de lã de rocha [34]	23
Figura 2.6 - Modelo de fachada ETICS com isolamento de EPS [37]	24
Figura 2.7- Modelo de fachada ventilada com isolamento de PIR [40]	25
Figura 3.1 - Tipos de fachadas presentes na legislação portuguesa [4]	29
Figura 3.2 – Casas portuguesas construídas em xisto [48]	30
Figura 3.3 - Efeitos da exposição a altas temperatura. (a) Direta. (b) Indireta [49]	31
Figura 3.4 – Rotura de fachada de vidro exposta à condições de incêndio [52]	31
Figura 3.5 – Representação esquemática de uma fachada em ETICS [54]	32
Figura 3.6 - Desenvolvimento das chamas em fachadas ETICS de (a) EPS e (b) XPS [12]	33
Figura 3.7 - Representação esquemática de uma fachada ventilada [56]	34
Figura 3.8 - Funcionamento e benefícios das fachadas ventiladas [31]	35
Figura 3.9 - Esquematização do efeito chaminé [60]	36
Figura 3.10 - Edifício com sistema de fachada dupla [62]	37
Figura 3.11 - Esquematização de uma fachada com caixa de ar preenchida [4]	38
Figura 3.12 - Esquematização de uma fachada de painéis sanduiche [4]	39
Figura 3.13 - Fachada verde em edifício residencial [68]	39
Figura 3.14 - Fachada de edifício construída com painéis fotovoltaicos [71]	40
Figura 4.1 - Elos da reação em cadeia [73]	43
Figura 4.2 - Elementos utilizados na compartimentação horizontal [73]	45
Figura 4.3 - Compartimentação vertical entre pavimentos (escadas e elevadores) [73]	46
Figura 4.4 - Compartimentação vertical em fachadas [74]	47
Figura 5.1 - Medidas propostas para limitar a propagação de incêndio entre edifícios [84]	64

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Especificações desejadas para uma fachada [29].....	27
Tabela 4.1 – Classificação da reação ao fogo dos produtos da construção [42]	50
Tabela 5.1 - Quadro III do RT-SCIE: reação ao fogo de revestimentos elementos exteriores	59
Tabela 5.2 – Quadro IV do RT-SCIE: reação ao fogo de elementos de revestimento exterior criando caixa-de-ar	59
Tabela 5.3 – Quadro V do RT-SCIE: Reação ao fogo dos sistemas com revestimento sobre isolante «ETICS»	60

SIGLAS/ABREVIATURAS

ACP	Painéis Compósitos de Alumínio
AED	Dirham dos Emirados Árabes Unidos
ANEPC	Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil
CAD	Campo de Aplicação Direta
CAE	Campo de Aplicação Estendida
CE	Comissão Europeia
DPC	Diretiva de Produtos de Construção
EPS	Poliestireno Expandido
ETICS	Sistema de Isolamento Térmico Externo
FIGRA	Taxa de Crescimento do Fogo
FPU	Poliuretano Flexível
HPL	Painéis Laminados de Alta Pressão
MCA	Material Composto de Alumínio
MFB	Brigada Metropolitana de Incêndio
MHCLG	Ministério da Habitação, Comunidades e Governo Local
MW	Lã Minera
PIR	Poliisocianurato
RJ-SCIE	Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios
RT-SCIE	Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios
SCIE	Segurança Contra Incêndio em Edifícios
SMOGRA	Taxa de Crescimento da Fumo
THR	Liberação Total de Calor
TSP	Produção Total de Fumo
UT	Utilização-tipo
VBA	Autoridade de Construção de Victoria
XPS	Poliestireno Extrudido

1 INTRODUÇÃO

1.1 A PROBLEMÁTICA DA SCI NAS FACHADAS

Com as pautas ambientais ganhando mais destaque devido a eventos climáticos extremos, vem-se tornando cada vez mais frequente a necessidade da redução no consumo de energia num cenário onde a sua demanda é cada vez maior. Assim, torna-se necessário realizar mudanças nos mais diversos meios para atingir os atuais requisitos de sustentabilidade, e estas exigências se estendem para o setor da construção civil. A utilização de materiais e sistemas com objetivo de melhorar o isolamento térmico nas fachadas é comum em países que possuem grande variação de temperatura entre as estações do ano. Com o desenvolvimento da indústria de materiais e o surgimento de novas técnicas de revestimento, a composição das fachadas se tornou cada vez mais diversa, sendo enquadrada através de mudanças em legislações em alguns países [1].

No entanto, diversos investigadores demonstraram que as fachadas possuem um papel crítico no desenvolvimento dos incêndios, e isto está diretamente relacionado com os materiais utilizados para melhorar a eficiência energética do edifício, que possuem características combustíveis e estão presentes de forma contínua em toda extensão do edifício, facilitando a propagação das chamas e fornecendo um caminho para o qual o fogo pode seguir [2]. Além disto, as configurações de fachadas que utilizam estes materiais geralmente não apresentam dispositivos que sirvam como meio de contenção para as chamas [3].

Mesmo com avanços científicos e os constantes avanços em legislações, que visam aprimorar a segurança contra incêndios, os resultados ainda não são satisfatórios. Quando analisamos o cenário atual o impacto dessas medidas não parece surtir efeito no curto prazo. Um levantamento recente mostra que o número de incêndios envolvendo grandes edifícios está em tendência de crescimento nas últimas décadas [4], [5].

Entre os anos de 2010 e 2014 foram 15 incêndios registados envolvendo fachadas em edifícios de grande altura, já entre 2015 e 2019 ocorreram 20 incêndios. Em termos de comparativos o último intervalo de 5 anos analisado apresenta a mesma quantidade de acidentes que as primeiras duas décadas do levantamento, que juntas possuem 20 casos [5]. Estes dados podem ser mais bem analisados na Figura 1.1.

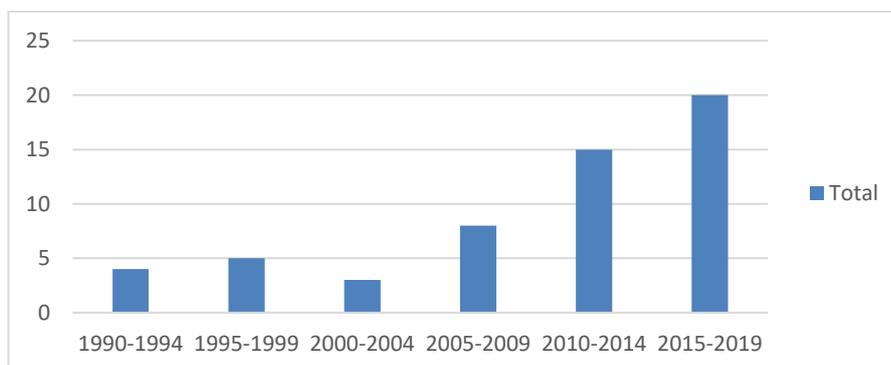


Figura 1.1. – Frequência de grandes incêndios em fachadas em todo o mundo de 1990 até os dias atuais [5].

Ao se analisar os dados presentes no levantamento, podemos verificar que países como os Emirados Árabes Unidos, a China e o Reino Unido apresentam a maior concentração incêndio envolvendo fachadas de grandes edifícios. Este dado demonstra uma necessidade de verificar por quais motivos o aumento no número de incêndio vem se intensificando nestes países. Este aumento pode está relacionado com o concentração deste tipo de edifício, mas ainda é necessário verificar o que faz com que este número cresça mais em determinados países do que em outros.

Entre os mais recentes incêndios noticiados, um que recebeu destaque especial ocorreu em 2017 em um edifício que tinha passado há pouco tempo por uma renovação do seu envolvimento térmico. O incêndio na Torre Grenfell, localizada em Londres, foi marcado pela velocidade em que o edifício ardeu e o estado de destruição da construção após o incidente. Além dos danos materiais, esta tragédia envolveu 72 óbitos, tornando-se um dos piores incêndios em Inglaterra após a segunda guerra mundial. Diversas investigações foram realizadas após o acontecimento para entender o que levou a tamanha destruição em tão pouco tempo [6]. Em seu relatório final foi apontado que o incêndio começou em um apartamento do quarto piso e tomou grandes proporções quando, a partir de uma falha de design, as chamas conseguiram entrar no sistema de fachadas e propagaram-se rapidamente entre os outros apartamentos [7].



Figura 1.2 - Incêndio na Torre Grenfell, 14 de junho de 2017 [6]

Visando remediar está problemática que vem sendo observada, o governo inglês estabeleceu um programa para remover e substituir revestimentos de Material Compósito de Alumínio dos edifícios que possuem mais de 18 m. Atualmente, dos 487 edifícios identificados no levantamento, 441 já removeram completamente o revestimento e 37 já começaram o processo de remediação [8].

Outros esforços vêm sendo feito para reverter esta realidade após Grenfell, como as alterações que vem sendo realizadas na legislação da construção inglesa. Atualmente os materiais que compõem a estrutura de uma fachada devem ter desempenho que atendam ao estabelecido no regulamento de Segurança Contra Incêndios: Documento aprovado B (1), onde define a utilização de materiais não combustíveis nas paredes exteriores para se atingir o melhor desempenho, ou deve-se aplicar materiais que atendam ao cumprimento dos critérios estipulados baseados em resultados de testes em grande escala [9].

Atualmente um dos testes mais utilizados para a verificação da segurança de fachadas é o preconizado na norma BS 8414 sendo uma derivação daquele que vem sendo avaliada pela Comissão Europeia (CE) como o teste adotado na Regulamentação dos Produtos de Construção [9],[10]. No entanto, algumas análises críticas já foram feitas pelo fato de se tratar de um ensaio com método empírico, os resultados só seriam representativos no cenário de teste [10].

1.2 OBJETIVOS

Dado este cenário é possível perceber que apesar de ser um tema já muito debatido, ainda não existe um consenso de como é possível garantir a segurança contra incêndio nas fachadas no atual cenário da construção civil, os atuais métodos precisam de validações que apresentem as características de performance e que possam representar as condições reais dos edifícios. As legislações também precisam ser revistas para estabelecer parâmetros adequados de forma a garantir a segurança necessária. Assim, se faz necessário uma análise aprofundada na problemática das fachadas, verificar quais materiais são utilizados atualmente e que trazem mais segurança contra incêndios e realizar um levantamento do que vem sendo aplicado na forma de dispositivos legais para mitigar este problema.

A legislação portuguesa trata desta problemática ao prescrever condições específicas para fachadas, com objetivo de limitar a propagação das chamas pelo exterior do edifício e passagem das chamas para edificações ao entorno. Assim, é demonstrado uma preocupação para evitar os cenários que vem se repetindo no mundo. Porém, é preciso analisar as atuais medidas implementadas e verificar, a partir do que de mais moderno vem sendo implementado em outros países, se elas são suficientes para remediar os riscos.

1.3 METODOLOGIA

Dada a situação apresentada, este trabalho busca analisar o papel das fachadas na propagação dos incêndios em grandes edifícios. Para isso, será realizado uma análise do quadro legal português de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE) e verificar a sua adequação aos requisitos atuais. Como forma complementar, serão apresentadas legislações internacionais visando entender o que atualmente é exigido em termos de prevenção a incêndios.

Além disto, será feito um levantamento dos principais incêndios envolvendo fachadas que ocorreram em edifícios de grande altura, com objetivo de entender as suas causas e as medidas

implementadas após estes acidentes. Ao longo do trabalho, serão discutidos os impactos e as consequências destes incêndios, bem como as mudanças legislativas que se decorreram em um âmbito global. Destaca-se, em particular, o incêndio da Torre Grenfell como um marco importante para as alterações nas legislações relacionadas à segurança contra incêndios.

Deste modo, a pesquisa será desenvolvida no sentido de realizar um levantamento de textos bibliográficos e documentos relacionados ao tema, com o objetivo de construir uma base de informações sólida e obter uma compreensão aprofundada dos fatores mais comuns que estão relacionados aos incêndios em fachadas.

Este levantamento foi realizado utilizando a metodologia de revisão sistemática PRISMA Statement¹. Este método consiste na seleção de base de dados onde é possível obter informações relacionadas com a área de estudo pretendida. Para este trabalho foram escolhidas as bases de dados SCOPUS, INSPEC e Web of Science.

Seguiu-se para a seleção das palavras-chave a serem aplicadas nas bases de dados. A escolha visou englobar todos os aspectos relacionado com o tema da dissertação, assim, foram estabelecidos três grupos de palavras-chave. No grupo A foram selecionadas palavras relacionadas com elementos construtivos do edifício, o grupo B tem foco em palavras voltadas para incêndio e comportamento das chamas, já o grupo C foi pensado para delimitar a busca para incêndio em grandes edifícios.

Tabela 1.1 - Palavras-chave

Palavras-chave		
Grupo A	Grupo B	Grupo C
Building façades	Fire spread	Grenfell Tower
ETICS	Fire safety	
Ventilated façades	Reaction-to-fire	

Em seguida foram estipulados os critérios de inclusão a serem aplicados nos filtros de cada uma das bases de dados para refinar a busca, e assim, encontrar os artigos mais relevantes para serem aplicados na metodologia. Foram escolhidos os seguintes critérios:

- Ano: últimos 5 anos (2018-2022);
- Tipo de documento: artigo;
- Publicação: revistas (apenas no SCOPUS);
- Idioma: inglês.

Por fim, para complementar a base de dados com informação importantes que possam não ter passado devido a estarem fora dos filtros utilizados foi realizado a técnica de *snowballing*, onde ao encontrar uma citação relevante em algum artigo selecionado, foi buscado nas

¹ <http://www.prisma-statement.org/> (acedido em 08/01/2023)

referências o artigo de origem da informação. Assim, foram encontrados outros artigos e alguns documentos que foram ser utilizados.

Posteriormente, a investigação se concentra no levantamento das principais normativas, legislações e testes utilizados para avaliar o tema. Com base nesse material, é possível realizar uma análise crítica e comparativa das informações obtidas, com o objetivo de identificar as principais divergências e possíveis caminhos a seguir.

Como mencionado anteriormente, ainda não há um consenso claro sobre qual teste realizar para garantir um entendimento completo do comportamento das chamas em um sistema de fachadas. Neste cenário, espera-se reunir as principais mudanças em normativas e dispositivos legais, a fim de verificar o que tem sido feito para contornar esses riscos.

Por meio da compilação de todas essas informações, será possível obter uma visão geral do que há de mais moderno e preciso em relação à salvaguarda aos incêndios em fachadas. Além disso, pretende-se realizar uma análise crítica do atual quadro de Diplomas legais de SCIE, com ênfase nos pontos referentes às fachadas, e compará-los com os requisitos encontrados durante a investigação. Dessa forma, espera-se contribuir para o aprimoramento da segurança contra incêndios em fachadas de grandes edifícios em Portugal, considerando aspectos legais, técnicos e práticos.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A seguinte dissertação será dividida em seis capítulos, abordando a reação ao fogo em fachadas. No Capítulo 2, são discutidos os aspectos gerais da segurança contra incêndio em edifícios de grande altura. Nesta secção, são analisados casos de incêndios ocorridos em edifícios de grande altura, visando compreender o que gerou o acidente e as consequências destes eventos. Adicionalmente, são apresentados os materiais mais utilizados em fachadas, incluindo revestimentos e isolamentos, e discute-se sua relação com a segurança contra incêndio.

No Capítulo 3, o foco recai sobre os tipos de fachadas mais utilizados em edifícios de grande altura. São exploradas as características e particularidades de fachadas tradicionais, fachadas ventiladas e ETICS (do inglês, *External Thermal Insulation Composite Systems*). O objetivo é oferecer uma análise aprofundada desses diferentes tipos de fachada, destacando seus aspectos relacionados à segurança contra incêndio.

Em seguida, o Capítulo 4 é dedicado à compreensão dos conceitos de reação e resistência ao fogo dos materiais utilizados em fachadas. Nessa secção, são abordadas as classificações dos produtos da construção quanto a sua capacidade de reagir e resistir ao fogo. Adicionalmente, são discutidos os mecanismos de propagação das chamas em fachadas e é realizada uma análise do papel dos testes em escala real na avaliação da segurança contra incêndio.

No Capítulo 5, é realizada uma análise das legislações com foco nos aspectos relacionados com propagação das chamas em fachadas. Inicia-se com a legislação portuguesa de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE) e, em seguida, são analisadas legislações de outros países, com o

intuito de verificar quais medidas são aplicadas internacionalmente. Essa comparação entre diferentes regulamentações possibilita uma visão mais ampla sobre as abordagens adotadas em relação à segurança contra incêndio.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões finais da dissertação. Nessa secção, os resultados obtidos ao longo dos capítulos anteriores são consolidados. É realizada uma discussão sobre os avanços alcançados e os desafios enfrentados em relação à segurança contra incêndio em edifícios de grande altura.

2 A SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS DE GRANDE ALTURA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A segurança contra incêndios em edifícios de grande altura é um assunto crucial, especialmente em áreas urbanas, onde a quantidade e altura destas construções é cada vez maior. Estes edifícios apresentam um grande desafio em termos de segurança, pois num cenário de incêndio as chamas podem se espalhar rapidamente em toda sua estrutura, causando danos irreparáveis e colocando em risco a vida das pessoas.

De acordo com um estudo realizado por Bonner e Rein em 2020 [5], o número de incêndios envolvendo a propagação de chamas ao longo da fachada de grandes edifícios tem aumentado globalmente, alcançando uma média de 4,8 incêndios por ano, como evidenciado na Figura 1.1. No entanto, é importante ressaltar que este número pode ser ainda maior, já que a pesquisa pode ter subestimado eventos de menor escala ou com menos repercussão.

Este comportamento crescente pode ser justificado devido as mudanças que tem ocorrido na constituição das fachadas ao longo do tempo. Em edifícios com fachadas mais antigas, a violação da compartimentação vertical só ocorre por meio da fachada quando as chamas num cômodo conseguem romper uma estrutura voltada para o exterior e se projetam para fora da edificação, permitindo que o fogo se propague pela lateral do edifício e passe para o andar acima [11, 12].

No entanto, é importante destacar que as fachadas mais modernas podem apresentar um risco adicional de propagação de incêndios devido aos materiais e configurações utilizados. Em muitos casos, esses materiais podem estar presentes no envoltório de isolamento ou no revestimento das fachadas, contendo uma ampla gama de polímeros e outros materiais altamente inflamáveis. Como resultado, em situações de incêndio, a fachada pode contribuir diretamente para a propagação das chamas, aumentando o risco de danos e perdas significativas [11].

Na perspectiva da segurança contra incêndios uma fachada que atende as condições de segurança deveria possuir materiais que não apresentem combustibilidade e que atendam aos critérios de segurança, possibilitando uma construção resistente e segura, já que a presença de materiais combustíveis tem o potencial de burlar o sistema de compartimentação implementado e permite que o fogo se espalhe entre os pisos [13].

Mas na prática estes riscos vêm sendo ignorados durante a escolha dos materiais a serem utilizados na construção de fachadas. A prevalência na escolha de materiais, como os polímeros, se baseia na possibilidade de construir estruturas leves, que melhoram as propriedades mecânicas, o isolamento e que tem a capacidade de serem manipulados para atender critérios de construção mais modernos.

Além disto, muitas vezes se trata de materiais barato e que já são comumente aplicados na construção civil. Sua aplicação já se trata como uma cultura e está enraizada na escolha dos

projetistas. Mas por outro lado, podemos ver que os órgãos competentes sabem dos riscos associados e, muitas vezes, não agem para prevenir os riscos presentes.

Diante deste cenário, diversos esforços têm sido empreendidos para compreender o comportamento dos incêndios em grandes edifícios, tanto por meio de experimentação quanto de análise numérica. O objetivo é desenvolver soluções que garantam a proteção adequada contra incêndios para os mais diversos tipos de fachadas. No entanto, dada a diversa gama de materiais e de sistemas de fachadas utilizados atualmente, é difícil determinar um método de ensaio ou análise que consiga garantir critérios de segurança efetivos.

Os repetidos casos de incêndio são um indicativo claro de que mudanças precisam ser implementadas para evitar acidentes tão devastadores no futuro. Por isto, é crucial analisar cuidadosamente os casos anteriores de incêndios, a fim de compreender como estes eventos ocorrem e identificar as melhores práticas para prevenção e segurança. É importante estudar cada caso, considerando fatores como o tipo de construção, o sistema de segurança existente e a resposta das equipas de emergência para identificar os pontos fracos e fortalecer a segurança.

Além disto, também é preciso entender quais materiais são usualmente utilizados em fachadas e quais destes são associados aos riscos de incêndio. A motivação para esta análise é o facto de muitos destes materiais possuírem características combustíveis e elevam a preocupação de como garantir a segurança em caso de incêndio. Estes materiais podem contribuir para a propagação das chamas e aumentar o risco de danos estruturais e perda de vidas. Assim, é necessário verificar quais materiais são empregados hoje para contribuir com a redução da propagação de incêndios em fachadas de edifícios.

Dado isto, foi realizado um levantamento no material bibliográfico obtido utilizando a metodologia PRISMA para verificar quais são os incêndios mais referenciados na literatura. Com esta informação se procedeu em uma investigação em cada um destes casos para entender quais fatores contribuíram para a culminação destes desastres.

2.2 INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS DE GRANDE ALTURA

2.2.1 Torre Lacrosse

O incêndio na Torre Lacrosse foi um evento significativo na história da segurança de edifícios em todo o mundo, uma vez que o nível de destruição gerado ilustrou claramente os riscos associados ao uso de materiais inflamáveis em revestimentos externos de edifícios.

Esta torre, localizada na rua La Trobe, 673, em Docklands, Melbourne, trata-se de um edifício de utilização mista com 23 pisos, 15 destes sendo destinados a apartamentos. Por volta de 2 da manhã do dia 25 de novembro de 2014, um homem fumou um cigarro na varanda de seu apartamento no 8º piso. Ao terminar, o homem descartou a beata no chão da varanda, a esperar

que se apagasse sozinha. No entanto, uma corrente de ar fez com que permanecesse acesa e fosse de encontro a materiais armazenados na varanda, que começaram a queimar [14].

Estes acontecimentos estão presentes no relatório de análise pós-incidente da Brigada Metropolitana de Incêndio (MFB, do inglês *Metropolitan Fire Brigade*), que indicou que a presença de grande quantidade de material armazenado na varanda foi o que alimentou o foco inicial do fogo e que possibilitou a queima do revestimento externo da parede. Também foi demonstrado que já existia o conhecimento de que os elementos instalados nas paredes externas deste edifício não evitaram a propagação do fogo na medida necessária. Uma vez iniciado, o revestimento ardeu rapidamente levando a uma propagação vertical que atingiu diversos níveis do edifício [14, 15].

Com a análise da linha do tempo dos acontecimentos, foi possível determinar que o fogo chegou ao telhado da edificação em 10 a 15 minutos, penetrando nos quartos internos e adjacentes em todos os pisos. No caso examinado neste relatório, a propagação vertical ascendente do fogo foi restrita apenas pela altura do edifício. Se a construção possuísse paredes externas que continuassem a uma altura ainda maior é altamente provável que a propagação do fogo teria continuado [14, 16].



Figura 2.1 - Propagação das chamas a partir do oitavo piso [14]

Como pode ser visto na Figura 2.1, as chamas partem do piso 8 em um caminho vertical para os pisos superiores, guiado principalmente pelo revestimento. Porém, é possível ver que no sexto piso há um novo foco de incêndio causado pelo gotejamento de partículas em combustão. No total os pisos 6 a 21 foram os mais afetados pelo fogo e diversos outros tiveram danos devido ao combate ao incêndio. Nestes pisos existiam cerca de 15 apartamentos por piso e mais de 400 pessoas estavam presentes no momento do incêndio, tornando o processo de evacuação um desafio. Felizmente, não houve mortes ou ferimentos graves no incêndio da Torre Lacrosse, mas os prejuízos foram avaliados em cerca de 5 milhões de dólares australianos [14].

O relatório MFB observou que o incêndio em Lacrosse foi um "incidente raro e desafiador". Também foi destacado que "foi afortunado que o sistema de sprinklers instalado tenha operado bem acima de sua capacidade projetada, impedindo uma maior propagação interna". A MFB

ainda observou que, se não fosse pelo desempenho do sistema de sprinklers e a resposta rápida e profissional dos bombeiros, "poderia ter havido uma maior probabilidade de lesões graves ou até mesmo perda de vidas" [17].

O incêndio na torre resultou em uma Audiência Parlamentar do Senado Federal Australiano sobre Produtos de Construção Não Conformes, realizada em 6 de setembro de 2017. Onde Adam Dalrymple, suboficial chefe dos bombeiros, fez as seguintes observações:

“Temos sérias preocupações com o uso de produtos não conformes e que isto pode resultar em uma perda desastrosa de vidas, e não podemos dizer quando o próximo evento vai acontecer. Este é um edifício moderno, construído nos últimos cinco anos. Até agora, foi uma suposição válida dizer que os edifícios mais novos são relativamente seguros e provavelmente mais seguros do que os antigos. Porém, do ponto de vista dos serviços de combate a incêndios, neste momento, não posso garantir isto e não posso afirmar categoricamente que isto é um facto verdadeiro”.

Este relato mostra que o incidente chamou a atenção para a segurança dos edifícios com fachadas que possuem materiais inflamáveis, como os Painéis Compósitos de Alumínio, que estava a ser usado no revestimento externo da Torre Lacrosse. O MFB identificou que o uso deste material foi um fator que contribuiu para a rápida propagação vertical do fogo. Após testes, concluíram que o material que constituía a fachada não estava de acordo com os critérios estabelecidos pelo código nacional de construção australiano para edifícios de 3 pisos ou mais [14].

Alguns esforços vêm sendo feitos para alterar este cenário. O órgão regulador para a indústria da construção, Autoridade de Construção de Victoria (VBA, na sigla em inglês *Victorian Building Authority*), realizou um levantamento entre os edifícios localizados no distrito comercial e arredores de Melbourne e identificou que 51% deles apresentam ACP não conforme na sua estrutura. Entre os edifícios identificados estão a quarta torre mais alta de Melbourne, Prima Pearl, os hotéis Crown Metropol e Oaks on Lonsdale, e o edifício mais alto de Melbourne, a Torre Eureka. Este cenário demonstra que o risco associado a materiais combustíveis em fachadas ainda é constante [16].

Em 2016, o Conselho da Cidade de Melbourne emitiu 312 notificações de construção para proprietários de apartamentos exigindo que os apartamentos fossem trazidos em conformidade com os códigos de construção, segurança e incêndio australianos, ou seja, que os as estruturas realizem uma substituição completa por outro material de revestimento. Além disto, atualmente os proprietários de edifícios com revestimento externo combustível deve realizar um registo junto ao governo [16].

Depois do incêndio, várias mudanças foram implementadas para garantir a segurança de edifícios, incluindo novos regulamentos para o uso de materiais de construção, que proíbe o uso deste material na Austrália, e a introdução de novas regras de inspeção e manutenção de edifícios. Além disso, as autoridades australianas lançaram uma investigação completa para identificar medidas de prevenção para o futuro. Deste modo, o incidente na Torre Lacrosse serviu como um lembrete para a importância de medidas de segurança e prevenção de incêndios em edifícios.

2.2.2 Hotel Address Downtown

Dubai é uma cidade conhecida pela sua paisagem urbana impressionante, caracterizado pela sua grande quantidade de arranha-céus. A cidade tem sido um ímã para desenvolvedores imobiliários nos últimos anos, com uma enorme quantidade de edifícios altos sendo construídos a um ritmo acelerado. Isto ocorre devido a uma necessidade crescente de espaço habitacional e comercial para atender à crescente população e ao crescente número de negócios.

No entanto, com a construção de tantos edifícios altos, também vem a necessidade de garantir a segurança dos ocupantes destas estruturas. O país possui graves problemas relacionados com a segurança contra incêndio em edifícios, pois desde 2012 foram registados 13 casos de incêndios em grandes edifícios.

O primeiro incêndio de revestimento com Material Composto de Alumínio foi em 2012, quando o bloco residencial Al Tayer Tower com 40 pisos irrompeu em chamas. Mais tarde no mesmo ano outro bloco residencial, o Tamweed Tower de 37 andares, também ardeu. Um outro incêndio de grandes proporções ocorreu em março de 2015, num bloco residencial e de escritórios de 79 pisos e ficou conhecido como o incêndio da Torch Tower. Felizmente, um sistema de acesso protegido para garantir a evacuação tinha sido instalado. Assim, os bombeiros tiveram um acesso de segurança para levar as equipas de resgate até a área do incêndio e evacuar todos os ocupantes [18].

Todos estes casos têm em comum a utilização de materiais combustíveis em suas fachadas, mais especificamente Painéis Compósitos de Alumínio com núcleo termoplástico, materiais foram apontados como um meio para a rápida propagação do fogo. Este problema se agrava quando a estimativa de edifícios que utilizam este tipo de painel de fachada nos Emirados Árabes Unidos é de cerca 65-70% [19].

No entanto, o mais dramático de todos os incêndios envolvendo torres que utilizam este tipo de material ocorreu no fim do ano de 2015. O acidente ocorreu na véspera de Ano Novo no Hotel Address Downtown, que fica ao lado do arranha-céu mais alto de Dubai e mais alto do mundo, o Burg Khalifa, com 828 m de altura. O edifício possui 63 pisos, que incluem entre as suas utilizações apartamentos de luxo e escritórios [6].

O incêndio foi inicialmente causado por um curto-circuito em um projetor de luz no terraço do 20º piso o que possibilitou o fácil acesso a fachada do edifício. As chamas se propagaram rapidamente pela face externa e posteriormente rompeu a compartimentação e espalhou-se internamente. Foi preciso mais de 90 minutos após o início do incêndio para as equipas de bombeiros conseguirem controlá-lo, mas não antes que uma grande parte do edifício fosse danificada. No geral, os danos se restringiram principalmente à estrutura do edifício e levaram a um pedido de indenização de 1,22 bilhão AED (€309 milhões) [20].



Figura 2.2 - Incêndio no edifício Address Downtown no Dubai [6]

Apesar da magnitude do acidente não houve mortes relatadas. No entanto, 16 pessoas ficaram feridas, incluindo um bombeiro que sofreu uma lesão grave. Este feito só foi possível devido à rápida resposta das equipas de bombeiros que conseguiram realizar uma evacuação rápida e segura de mais de 3000 pessoas. Além disto, as camadas de proteção utilizadas na edificação auxiliaram em manter a segurança das pessoas durante todo o processo.

De acordo com os registos de eventos da Proteção Civil de Dubai, os sistemas de sprinklers no incêndio do Address Downtown Dubai Hotel ficaram sem água 15 minutos após a sua ativação. Além disto, foi possível verificar que o sistema de sprinklers utilizados estava para além do alcance do incêndio, pois se tratava principalmente de um incêndio externo que se estendeu por mais de 40 andares [20].

O incêndio recebeu ampla cobertura da imprensa em todo o mundo e levantou preocupações sobre os padrões de segurança em edifícios altos. Desde então, o governo de Dubai introduziu novas regulamentações de segurança contra incêndios para edifícios altos, incluindo requisitos para sprinklers e outras medidas de prevenção e resposta a incêndios.

2.2.3 Torre Grenfell

Em sua construção original, a Torre Grenfell era um bloco de apartamentos da década de 1970, remanescente da arquitetura soviética, e tinha como estrutura painéis pré-fabricados de concreto com 250 mm de espessura, como se observa na Figura 2.3. Em maio de 2016 a estrutura passou por uma renovação em sua fachada com objetivo de torná-la mais eficiente energeticamente [21].

Sobre a fachada existente foi implementada a estrutura para transformá-la num sistema de fachada ventilada. Onde foi utilizado como revestimento Painéis Compósitos de Alumínio, semelhante aos presentes na Torre Lacrosse, com uma camada de 3 mm de polietileno. Esta

estrutura estava separada da fachada original por uma caixa de ar de ar de 50 mm, e por uma camada de 150 mm de espuma de poliisocianurato (PIR), revestida com folha de alumínio em ambos os lados, que foi fixado aos painéis preexistentes de concreto pré-fabricado [22, 23].

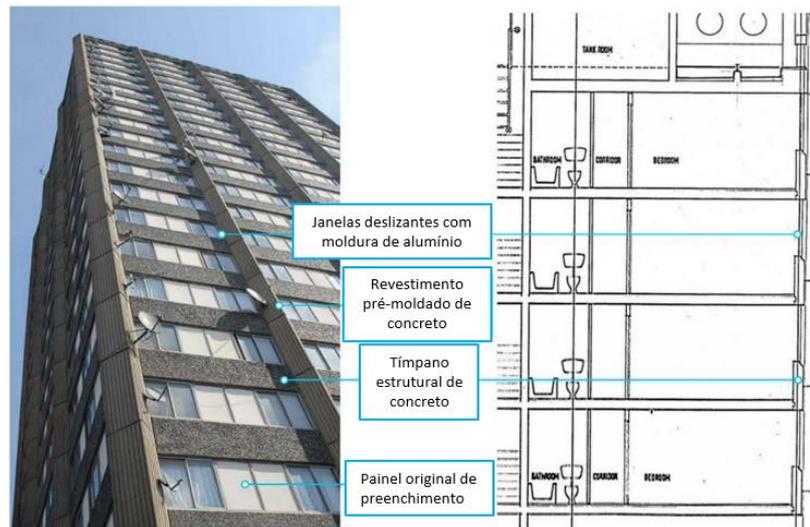


Figura 2.3 - Estrutura original da Torre Grenfell

Um ano após a renovação da fachada ocorreu o incêndio na Torre Grenfell, em 14 de junho de 2017 o bloco residencial de 24 andares, localizado em North Kensington, Londres, Reino Unido. O incêndio começou por volta da 1h da madrugada em um apartamento no quarto andar do edifício. De acordo com as investigações, o fogo teria sido iniciado por um frigorífico que estava localizado na cozinha de um dos apartamentos. Acredita-se que uma falha elétrica no aparelho tenha causado um curto-circuito, gerando faíscas que acabaram inflamando materiais próximos [24, 25].



Figura 2.4 - a) Incêndio na Torre Grenfell e b) Estrutura após o incêndio [21]

Após a rotura de uma das janelas, o fogo conseguiu romper a compartimentação e se espalhou rapidamente para os outros pisos do edifício a partir do revestimento, em menos de 15 minutos o fogo estava fora de controlo e tinha chegado ao 24^a piso.

As investigações mostraram outras falhas no sistema de segurança contra incêndio do edifício. O edifício não possuía sistema de *sprinklers*. Também foi detetado que alarme de incêndio não estava a funcionar e que havia apenas uma escada de emergência como rota de fuga. Além disto, os moradores não possuíam instruções específicas de como agir em casos de emergência [26].

Também foram encontradas diversas falhas na conceção do projeto que levaram a este cenário. O espaçamento utilizado para a caixa de ar de ar possuía o dobro da largura do intervalo máximo de 25 mm considerado aceitável [26]. A utilização de uma superfície supostamente não combustível para proteger o isolamento, como foi o caso do alumínio, voltada para a caixa de ar não é útil quando se utiliza uma camada fina, pois esta irá derreter facilmente em contacto com as chamas. Este caso é agravado quando esta placa é utilizada sobre uma peça altamente inflamável como o PIR.

Em adição a isto, o uso material combustível em uma caixa de ar vertical não precisa ter uma espessura notável para criar um risco, pequenas quantidades já conseguem desencadear um cenário catastrófico. A aplicação de uma camada de 150 mm de espuma de plástico no projeto de renovação da fachada da Torre Grenfell criou um perigo notável que não poderia ter sido ignorado [26].

Durante o processo de investigação o fabricante da espuma explicou que ela possuía a melhor classificação de propagação de chamas na metodologia de teste do Reino Unido, a Classe 0. No entanto, o sistema do Reino Unido para classificação de propagação de chamas falhou ao classificar estes materiais de espuma em um nível de segurança aceitável, além disso não deveria ter sido aprovado a utilização destes no projeto. Quando na presença de uma caixa de ar de ar, a utilização de materiais com características combustíveis, mesmo aqueles que possuem os níveis mínimos de combustibilidade, é o suficiente para criar um desastre, especialmente uma estrutura com o dobro da largura do intervalo considerado aceitável [18, 27].

A investigação concluiu que os dois principais fatores que permitiram a propagação de chamas irrestrita ao longo da fachada da Torre Grenfell foram os materiais combustíveis no revestimento e a caixa de ar de ar entre as duas camadas de materiais combustíveis. Essa combinação garantiu um resultado desastroso. Em qualquer fachada combustível, uma caixa de ar de 25 mm ou mais provavelmente levará a uma falha catastrófica. Mas uma fachada combustível não precisa de uma caixa de ar que promova a propagação de chamas para sustentar um incêndio massivo [26].

Na sua construção original não havia materiais combustíveis nem caixa de ar verticais no qual fornecesse caminho para propagação das chamas. Assim, antes da renovação da fachada o cenário visto em 2017, onde o fogo facilmente se estendeu por toda a extensão do edifício, seria extremamente improvável.

Todas estas falhas culminaram na morte de 72 pessoas e várias outras feridas. O fogo também destruiu completamente o prédio e causou danos significativos a edifícios próximos. O incêndio na Torre Grenfell gerou um grande impacto na sociedade britânica, gerando indignação sobre as

condições de habitação e segurança dos edifícios residenciais. As autoridades locais e nacionais foram criticadas pela sua resposta ao incêndio e pela falta de medidas para garantir a segurança dos moradores.

A resposta inicial das autoridades ao incêndio foi criticada por muitos como sendo inadequada. Algumas pessoas disseram que a resposta dos bombeiros foi lenta e que não havia um plano claro para evacuar o edifício. Outros criticaram a resposta do governo e do Conselho de Kensington e Chelsea, que administra o prédio, por não fornecerem apoio adequado aos sobreviventes.

O relatório final da investigação pública, liderada pelo juiz Martin Moore-Bick, foi publicado em 2019 e fez uma série de recomendações para melhorar a segurança dos edifícios residenciais. Entre as recomendações estão a revisão das regulamentações de construção, a melhoria das inspeções de segurança, a instalação de sistemas de alarme e sprinklers, além de destacar a necessidade de reformas urgentes na indústria da construção e habitação social.

2.2.4 Edifício de apartamentos Neo200

Observando a tendência dos incidentes envolvendo edifícios com revestimento combustível como foram os casos da Torre Lacrosse e Grenfell, o governo do estado de Victoria em Austrália estabeleceu uma esquipa especial para combater os perigos trazido com a utilização de revestimentos combustíveis [18].

No entanto, quatro anos após o incêndio na Torre Lacrosse e menos de dois anos após o fatal incêndio em Grenfell, um incêndio atingiu o edifício Neo200 e trouxe um novo foco sobre revestimentos combustíveis. Entretanto que o governo tentava reverter a utilização de materiais combustíveis em residências, escritórios, hospitais e fábricas que foram identificados como este material em sua estrutura.

Nas primeiras horas da manhã em 4 de fevereiro de 2019, no edifício da Rua Spencer, entre os números 182 e 200, em Melbourne, numa sacada de um complexo de apartamentos de 41 andares construído em 2004, chamado Neo200, estavam armazenados móveis, livros e caixas de papelão. A fonte inicial das chamas foi atribuída a um cigarro deixado aceso próximo a algumas roupas, que ao atingir o material logo se espalhou para os outros materiais combustíveis presentes [15].

O edifício também possuía em seu revestimento Material Composto de Alumínio, o levou a rápida propagação das chamas em sua parede exterior, reduzindo o acesso das equipas de resgate ao interior, e provocando a queda de detritos em combustão nos arredores. No total, 31 apartamentos permaneceram inabitáveis devido aos danos causados pelo fogo e pela água [28].

Com a pronta ação da Brigada Metropolitana de Incêndio, as chamas foram controladas em pouco mais de uma hora, resultando na evacuação de 371 apartamentos, sem que tenham sido registadas mortes ou ferimentos graves. As condições indicavam a possibilidade de uma

repetição do que ocorreu em Lacrosse e com potencial para ser extremamente grave, mas devido a rápida resposta dos bombeiros as consequências foram mínimas [15], [18].

Posterior investigação mostrou que a MFB já teria comunicado ao inspetor de construções do Conselho da Cidade de Melbourne que o revestimento combustível poderia permitir a propagação do fogo entre o oitavo andar e a cobertura, além de apontar que os sprinklers não abrangiam as sacadas onde o material combustível estava localizado [15].

No entanto, a investigação também mostrou que a instituição havia concluído que o impacto de um incêndio seria considerado "mínimo". Além disto, afirmaram que a probabilidade de lesões aos ocupantes seria equivalente a "cortes ou abrasões menores". A diferença entre os pareceres da MFB e do Conselho foi posteriormente evidenciada, e a justificativa encontrada foi que os Bombeiros possuem em seu quadro engenheiros internos especializados em incêndios que avaliam os riscos, já o Conselho da Cidade de Melbourne não possui essa expertise [28].

Estes eventos mostram que a problemática da reação ao fogo em fachadas se estende para além dos materiais combustíveis, os órgãos envolvidos com o segurança contra incêndio em edifícios devem estar comprometidos com a aplicação das normas e regulamentos e agir de forma a garantir que as medidas prescrições de segurança sejam aplicadas em tempo adequado.

2.3 MATERIAIS UTILIZADOS EM FACHADAS

2.3.1 Considerações iniciais

As superfícies das fachadas possuem em sua composição características arquitetônicas que levam em consideração a proteção do edifício a diversas intempéries e outros fatores como a estética, isolamento térmico e acústico. As fachadas podem possuir painéis com materiais isolantes, revestimentos plásticos, que utilizam madeira, grandes superfícies em vidro e mais uma gama de outros materiais, que muitas vezes possuem características combustíveis e que elevam os riscos de segurança a integridade das pessoas que o habitam ou utilizam.

Os materiais utilizados nos acabamentos e revestimentos internos são de extrema importância para a segurança contra incêndio, pois dependendo de sua composição, podem contribuir, em maior ou menor grau, na evolução do fogo. As características de reação ao fogo que devem ser avaliadas nesses materiais são: velocidade de propagação superficial das chamas, quantidade e densidade de fumo desenvolvido, quantidade de calor desenvolvido e toxicidade.

Dependendo da metodologia construtiva da edificação e dos materiais utilizados, o sistema de fachadas pode ser combustível e favorecer a propagação do fogo, por isto, é de imensa importância que estes dois fatores sejam projetados e pensados de maneira conjunta para determinar a segurança de um empreendimento. Um prédio deve sempre garantir, além do melhor aproveitamento possível para a sua função, o bem-estar físico e a integridade das pessoas que o utilizarão. Por isso, o uso de elementos construtivos deve-se adequar, em caso de incêndio,

para uma maior resistência do edifício ao colapso e que possuam capacidade de minimizar a propagação de um incêndio.

2.3.2 Tipos de revestimento

2.3.2.1 Aspectos gerais

Quando se analisa o segundo fator, os materiais do sistema de fachadas podem ser aplicados como revestimento, meio isolante e como suporte para o revestimento. Uma observação mais detalhada pode apresentar quais são as alternativas mais aplicadas hoje e quais destas trazem mais riscos à segurança da edificação. Quando se analisa os materiais de revestimento pode-se observar uma ampla gama de materiais, mas a sua escolha vai depender das características ao qual o edifício tem como objetivo. Ao selecionar um revestimento para fachadas, é essencial considerar não apenas a estética, mas também as propriedades de reação ao fogo do material. Em seguida será feito um resumo de alguns dos revestimentos mais utilizados.

2.3.2.2 Pedras

Esses revestimentos são feitos a partir de pedras naturais, como mármore e granito, que podem ser de origem magmática, metamórfica ou sedimentar. A sua utilização traz diversas vantagens para a edificação, pois este material é conhecido pela sua resistência mecânica e baixa porosidade, o que as torna adequadas para resistir às condições adversas do ambiente externo. Além disso, possuem uma variedade de cores e texturas naturais, permitindo a criação de fachadas únicas e personalizadas [29].

Quanto à reação ao fogo, os revestimentos de pedra oferecem um bom comportamento quando exposto ao fogo devido à sua natureza não combustível. Isso significa que este material não contribui diretamente para a propagação das chamas durante um incêndio. As pedras possuem alta resistência ao calor e são capazes de suportar altas temperaturas sem se decompor ou liberar gases inflamáveis, o que contribui para a segurança em fachadas.

2.3.2.3 Cerâmica

A cerâmica é um material comumente utilizado como revestimento em fachadas devido à sua versatilidade, durabilidade e apelo estético. É composta por materiais naturais como quartzo, argila, granito e pigmentos cerâmicos. Existem diferentes tipos de cerâmica, incluindo as cerâmicas extrudidas, que passam por um processo de prensagem, esmaltação e vitrificação para obter um acabamento de qualidade [29].

Assim como as pedras, as cerâmicas também apresentam uma boa resistência ao desgaste, sendo resistentes aos raios UV, à humidade e a produtos químicos, o que a torna adequada para uso em ambientes externos. A cerâmica também é conhecida pela sua durabilidade, sendo capaz de suportar as condições climáticas e manter suas características ao longo do tempo [30].

As cerâmicas também são semelhantes às pedras no quesito de reação ao fogo, sendo consideradas um material não combustível. Isto significa que não irão contribuir para a propagação das chamas e têm uma baixa taxa de combustibilidade. Esta característica provém do processo de fabrico, onde peças cerâmicas são submetidas a altas temperaturas, o que as torna capazes de suportar o calor sem liberar gases inflamáveis, o que é importante para a segurança em fachadas, ajudando a prevenir a propagação de incêndios.

2.3.2.4 Naturocimento

O naturocimento é um material compósito utilizado como revestimento em fachadas, amplamente conhecido pelo nome comercial "eternit". É composto por uma mistura de elementos como areia, betão, celulose e fibras reforçadas. Assim, é possível obter revestimentos com aspeto natural e com diferentes tonalidades, permitindo a utilização de pigmentos para personalizar a superfície do revestimento [30].

Além da estética, o naturocimento é conhecido pela sua durabilidade e resistência. Ele possui boa resistência mecânica, o que o torna capaz de suportar condições climáticas adversas, e à humidade, pragas e fungos, o que contribui para sua longevidade e baixa necessidade de manutenção.

Em um incêndio, este revestimento possui boas propriedades de retardar a propagação das chamas, já que pode ser classificado como material não combustível, tornando-o uma escolha segura para aplicação em fachadas [31].

No entanto, é importante destacar que a utilização do naturocimento em fachadas deve ser aplicada de acordo com a regulamentações e restrições específicas. Isto se deve à presença de amianto, que anteriormente era utilizado no fabrico de fibrocimento. Em muitos países, a produção e uso de naturocimento com amianto é proibida ou restrita e atualmente existem alternativas que não utilizam este composto disponíveis no mercado. Mantendo as propriedades do fibrocimento e são mais seguras em termos de saúde [29], [30].

2.3.2.5 Revestimento metálico

Esse tipo de revestimento é geralmente fabricado a partir de chapas metálicas finas feitas de materiais como alumínio, aço, aço inoxidável ou cobre, e tendo como sua principal vantagem a maleabilidade. Estas chapas podem ser moldadas e dobradas para se ajustarem a superfícies curvas e contornarem as esquinas e vãos, garantindo um revestimento contínuo e esteticamente agradável. Além disso, o revestimento metálico oferece uma variedade de opções de acabamento, como pintura, anodização ou aplicação de revestimentos protetores [29], [31].

Em relação à reação ao fogo, as suas propriedades podem variar dependendo do tipo de metal utilizado e do tratamento que esta superfície recebe. Alguns metais, como o alumínio, possuem boas propriedades de reação ao fogo, enquanto outros podem requerer tratamentos adicionais para melhorar sua reação. Durante o projeto deve ser observada as especificações e certificações

do revestimento metálico em relação à sua reação ao fogo, a fim de garantir a conformidade com as regulamentações e normas de segurança [32].

2.3.2.6 Painéis laminados

Também conhecidos como painéis laminados de alta pressão (HPL, na sigla em inglês *High Pressure Laminate*), são revestimentos amplamente utilizados em fachadas devido às suas propriedades de resistência, durabilidade e estética. Eles são compostos por uma camada externa de resina melamínica e um núcleo de papel kraft, papel decorativo e resina fenólica [31, 33].

Uma das principais vantagens dos painéis laminados é a sua resistência mecânica. Eles são projetados para suportar altas pressões e temperaturas durante o processo de fabrico, resultando em um material sólido e robusto. Essa resistência torna os painéis laminados capazes de resistir a impactos, arranhões e desgaste, tornando-os ideais para aplicações em fachadas expostas a condições adversas. Além disso, eles são resistentes ao desbotamento causado pela exposição aos raios UV, mantendo sua aparência visual por um longo período de tempo [31, 33].

Devido aos processos em que este revestimento é submetido durante o seu fabrico, as propriedades de reação ao fogo deste material são boas. Geralmente os painéis laminados têm uma contribuição limitada para a propagação de chamas, produção de fumaça e formação de gotas em caso de incêndio. Assim, tratamentos adicionais podem ser aplicados em painéis laminados para melhorar as propriedades retardantes de chamas deste revestimento [32].

2.3.2.7 Painéis Compósitos de Alumínio

Os Painéis Compósitos de Alumínio (ACP, do inglês *Aluminum Composite Panels*) consistem em revestimentos que possuem duas camadas externas de alumínio, que envolvem e protegem um núcleo central, geralmente constituído de por um material isolante como polietileno ou outros compostos termoplásticos [17].

A sua utilização traz como vantagem a sua durabilidade, já que este material é resistente à corrosão e intempéries, podendo suportar exposição prolongada à radiação solar, humidade, vento e outros agentes ambientais sem perder as suas propriedades estruturais e estéticas. Além disso, o ACP possui uma ampla gama de opções e são leves, o que facilita o manuseio e a instalação, reduzindo o tempo e os custos da obra. Estes fatores fazem com que o ACP seja ideal para uso em fachadas de edifícios [26].

Porém, quando analisamos à sua segurança contra incêndio, os ACPs podem apresentar diferentes classificações de reação e resistência ao fogo. Estes fatores irão depender do tipo de material utilizado, da espessura das camadas e do material presente no núcleo. Já existem modelos no mercado que utilizam núcleos retardante de chamas, porém sua aplicação ainda não é disseminada [23, 26].

Além disso, é importante ressaltar que, nos últimos anos, houve algumas preocupações em relação à segurança de alguns Painéis Compósitos de Alumínio. Alguns dos incêndios citados

anteriormente, como é o caso de Grenfell, utilizavam este material em sua estrutura, sendo constatado posteriormente que a sua utilização foi um dos fatores que agravou os danos gerados devido a facilitação na propagação das chamas [17].

Portanto, para utilizar estes painéis em fachadas é essencial selecionar produtos que atendam aos requisitos legais e garantir uma instalação adequada para assegurar que a fachada não irá apresentar riscos para o edifício.

2.3.3 Tipos de isolamento

2.3.3.1 Aspectos gerais

Outro elemento importante das fachadas é o isolamento térmico, amplamente utilizado no revestimento de edifícios de grande altura sobre a camada de alvenaria. Podendo ser aplicados em diversos sistemas de fachadas, como no Sistema de Isolamento Térmico Externo (ETICS) e em fachadas ventiladas, devendo ser aplicado por toda a sua extensão. Os materiais isolantes desempenham um papel crucial nas edificações atuais, quando bem aplicados ajudam a reduzir o consumo de energia e a manter o conforto térmico dos ambientes internos, minimizando as trocas de calor com o exterior.

Historicamente, os isolantes eram constituídos principalmente de compostos minerais, mas com as mudanças que os sistemas de fachadas sofreram ao longo dos anos, principalmente devido ao desenvolvimento de novos materiais, tornou-se cada vez mais comum o uso de polímeros em sua constituição. Vários fatores foram fundamentais para essa mudança ocorrer, como as recorrentes crises de combustíveis fósseis, a mudança do mercado para uma economia mais sustentável e a necessidade de métodos de construção mais simples e rápidos [4].

Atualmente, a lista de materiais que são utilizados para isolamento térmico inclui quase sempre polímeros em alguma quantidade. Estes materiais oferecem desempenho térmico geralmente melhor do que outros materiais isolantes, além de propriedades mecânicas que podem ser manipuladas e adaptadas para atender a diferentes necessidades.

No entanto, é importante destacar que a aplicação de polímeros em projetos de edifícios de grande altura deve ser realizada com cautela, visto que estes materiais podem apresentar características combustíveis em algum grau. Os riscos envolvendo o espalhamento das chamas em caso de incêndio podem trazer consequências catastróficas. Portanto, embora os polímeros apresentem melhores propriedades isolantes do que os isolamentos que utilizam compostos minerais, é necessário considerar cuidadosamente os riscos associados à sua aplicação [18].

Os riscos relacionados à combustibilidade dos polímeros são complexos e podem apresentar comportamentos imprevisíveis em caso de incêndio, devido a fatores como a alteração na pressão do ar devido à mudança de reação e os mecanismos de transferência de calor, combinados com os diferentes tipos de fachadas. Diante desse quadro, é importante destacar

quais são os isolamentos mais utilizados no revestimento de fachadas ventiladas e quais as suas principais características.

2.3.3.2 Lã mineral

A lã mineral (MW, do inglês *mineral wool*), é um material isolante de alta densidade e eficiência, tendo destaque por possuir uma excelente resistência térmica e acústica. Estas propriedades vêm da sua estrutura, que por ser formada por rochas vulcânicas, como basalto e calcário, e fundido a altas temperaturas formando fibras que se assemelham a lã. Estas fibras acabam por reter o ar em seu interior, criando uma barreira contra a transferência de calor e som [34], Figura 2.5.



Figura 2.5 - Modelo de fachada ventilada com isolamento de lã de rocha [34]

A lã mineral é um dos materiais de isolamento mais comuns em edifícios, onde é frequentemente usada para isolamento térmico e acústico em paredes, tetos e pisos. Além disso, devido à sua composição mineral, a lã de rocha é um material não combustível, pode suportar altas temperaturas sem perder as suas propriedades isolantes. Isso a torna uma escolha popular em edifícios de alto risco de incêndio, como hospitais, hotéis e edifícios comerciais. A lã mineral também é resistente à humidade e mofo, não se degrada com o tempo, o que significa que pode ser uma opção de isolamento durável [35, 36].

No entanto, a lã mineral pode apresentar algumas desvantagens. As fibras podem ser irritantes para a pele e os pulmões, e é importante seguir as precauções adequadas de segurança ao manusear o material. Além disso, este isolamento é menos eficaz em baixas temperaturas do que outros materiais, como a espuma de poliuretano. Por fim, a lã mineral pode ser mais cara do que outros materiais de isolamento, o que pode afetar o custo geral do projeto [36].

2.3.3.3 Poliestireno expandido

O Poliestireno Expandido (EPS) é um material isolante térmico e acústico feito de um plástico celular, o que resulta em um material leve, rígido e resistente, com uma estrutura de células fechadas que lhe conferem excelentes propriedades de isolamento. O EPS é frequentemente

utilizado como material isolante em edifícios e na construção civil, sendo aplicado em paredes, telhados, lajes, pisos e outros elementos construtivos [13], Figura 2.6.



Figura 2.6 - Modelo de fachada ETICS com isolamento de EPS [37]

Este isolamento é facilmente instalado, pois além de leve pode ser moldado em diferentes formatos e tamanhos, o que significa que pode ser facilmente adaptado para atender às necessidades específicas de cada projeto de construção. Outra vantagem é que se trata de um isolamento relativamente econômico em comparação com outros materiais, como a lã de rocha ou a espuma de poliuretano. Isso pode ser uma vantagem significativa em projetos de construção com orçamento limitado [37].

Ele também é um material durável e não se degrada facilmente, o que significa que pode oferecer um bom desempenho de isolamento ao longo de muitos anos. Além disso, o EPS é um material resistente à umidade, ao mofo e aos insetos. O que significa que pode ser reaproveitado no final de sua vida útil, reduzindo o impacto ambiental.

No entanto, é importante notar que o EPS é inflamável e pode liberar fumaça tóxica em caso de incêndio. O EPS também pode ser afetado pela exposição prolongada à radiação UV, o que pode causar a deterioração do material ao longo do tempo. Por isso, é importante garantir que ele seja instalado corretamente e em conformidade com as normas de segurança aplicáveis. Além disso, o EPS tem uma menor resistência à compressão em comparação com outros materiais isolantes, o que significa que pode ser necessário tomar medidas adicionais para evitar danos estruturais em áreas de carga elevada [5].

2.3.3.4 Espuma de poliuretano flexível.

A espuma de Poliuretano Flexível (FPU, do inglês *flexible polyurethane*), são materiais fabricados a partir dos polímeros orgânicos que possuem o grupo uretano em sua estrutura. A sua principal aplicação na construção civil é o revestimento, onde deve ser aplicada diretamente nas superfícies que precisam ser isoladas, como paredes, pisos tetos e tubulações. Quando se trata

das fachadas, o FPU é aplicado junto a alvenaria na parte exterior dos edifícios, estando em interface com o fluxo de ar [38].

Este polímero possui destaque pois apresenta boas propriedades em quesito de portabilidade e isolamento, pois possui uma baixa condutividade térmica, podendo ajudar a melhorar a eficiência energética, reduzindo a perda de calor no inverno e a entrada de calor no verão. Isso pode levar a uma redução significativa nos custos de aquecimento e resfriamento, bem como a uma melhoria no conforto térmico dos ocupantes do edifício [38].

No entanto, alguns tipos de FPU tem características combustíveis e termoplásticos, o que os tornam altamente suscetíveis a derretimento ou ignição quando expostos a fontes externas de calor [39]. Em caso de incêndio este material também pode liberar gases tóxicos. Além disso, devido à rápida velocidade de propagação de chamas na queima da FPU, juntamente com o seu comportamento único de derretimento, fazem com que os potenciais riscos de incêndio e os desafios na prevenção de incêndios nunca podem ser ignorados [5].

2.3.3.5 Poliisocianurato

O Poliisocianurato (PIR) é um material isolante térmico com excelente desempenho em termos de resistência térmica e durabilidade, sendo considerado um plástico termoendurecível tipicamente produzido como uma espuma e usado como isolamento térmico rígido. Ele é capaz de fornecer uma resistência térmica mais elevada do que outros materiais isolantes, como a lã mineral e EPS. Isso significa que ele pode manter as temperaturas internas dos edifícios mais estáveis, reduzindo assim os custos de energia associados à climatização [33], Figura 2.7.

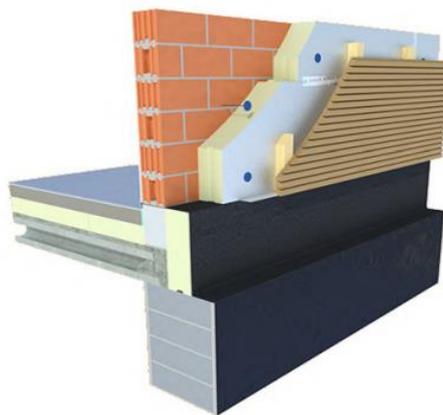


Figura 2.7- Modelo de fachada ventilada com isolamento de PIR [40]

Outra vantagem do PIR é sua resistência à humidade e ao vapor, sendo capaz de manter a sua performance isolante mesmo neste tipo de ambiente, preservando sua estrutura e propriedades térmicas. Isso o torna uma escolha ideal para uso em áreas onde há uma grande quantidade de umidade, como em banheiros, cozinhas e áreas de lavagem [33].

No entanto, o PIR é considerado um material combustível, o que significa que ele pode queimar quando exposto a altas temperaturas ou chamas, trazendo riscos a edificação. Atualmente este material pode receber aditivos em sua composição que podem retardar as chamas para melhorar sua resistência ao fogo. Além disto, este material não libera gases tóxicos em caso de incêndio, torna-o uma opção mais segura do que outros materiais isolantes. Estas propriedades tornam o PIR menos inflamável em comparação com outros materiais isolantes, como poliuretano e o EPS [13, 33].

3 TIPOLOGIAS DE FACHADAS

Uma fachada é a parte externa de um edifício ou estrutura que está diretamente exposta ao ambiente externo. Ela é a "face" do prédio e muitas vezes é o primeiro elemento visual que as pessoas veem quando se aproximam de uma construção. Além disso, a fachada tem um papel importante na proteção da estrutura contra intempéries, radiação solar, ruído e outros fatores ambientais.

As fachadas podem ser construídas com diversos materiais, como betão, vidro, madeira, tijolo, metal, entre outros, e podem ser projetadas numa variedade de estilos arquitetónicos, desde estilos clássicos até modernos e futuristas. Muitas vezes, a fachada é projetada para combinar com o ambiente em que o edifício está localizado ou para se destacar como um ponto de referência na paisagem urbana.

Porém, além da estética, é importante que a fachada seja projetada de forma a cumprir as exigências estruturais necessárias para suportar elementos como portas, janelas, varandas, terraços e tetos. Além disso, a fachada deve ser projetada levando em consideração a climatologia da região onde está situada, para garantir a proteção da estrutura contra os fatores externos adversos [30]. De forma geral, uma fachada deve ser desenvolvida para atender as especificações presentes na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Especificações desejadas para uma fachada [29]

Objetivos	Descrição
Mínima inflamabilidade	Reduzir a inflamabilidade e a contribuição da fachada para a propagação do fogo.
Mínima entrada de humidade	Reduzir a entrada de água na fachada reduz o mofo e a humidade no prédio.
Mínimo peso	Reduzir o peso da fachada reduz o tempo de construção e a quantidade de suporte estrutural necessário, permitindo geometrias de fachada mais complexas.
Mínima espessura	Reduzir a espessura da fachada aumenta a área útil disponível dentro do edifício.
Máxima estabilidade	Aumentar a estabilidade da fachada aumenta sua capacidade de resistir a todas as condições de carga, como vento, peso próprio e outras cargas vivas.
Máximo isolamento térmico	Aumentar a capacidade isolante da fachada aumenta o conforto dos ocupantes do edifício.
Máximo conforto de iluminação	Aumentar a qualidade da gestão de luz solar fornecida por uma fachada aumenta o conforto dos ocupantes do edifício.
Máximo isolamento acústico	Aumentar a quantidade de ruído externo bloqueado por uma fachada aumenta o conforto dos ocupantes do edifício.
Estética	Uma fachada deve ser bonita.
Retorno de investimento	Uma fachada deve permanecer dentro do seu orçamento permitido.

Com o passar do tempo diversos esforços vêm sendo feitos para desenvolver novas estruturas que possibilitem a construção de fachadas mais resistentes e que possuam melhores propriedades térmicas, acústicas e de iluminação. Assim, é possível observar uma grande mudança nos materiais utilizados na construção nos últimos séculos. Atualmente a lista de materiais que são utilizados para isolamento térmico inclui quase sempre polímeros em alguma quantidade. Estes materiais oferecem desempenho térmico geralmente melhor do que outros materiais isolantes, além de propriedades mecânicas que podem ser manipuladas e adaptadas para atender a diferentes necessidades [41, 42].

A utilização destes materiais justifica-se principalmente devido aos requisitos impostos acerca da redução do consumo energético em edifícios. A União Europeia definiu sua política para melhoria da eficiência energética geral e harmonizou esta política com outras legislações e instrumentos, de modo a revitalizar a economia europeia [43]. A eficiência energética geral implica na redução do consumo de energia em edifícios, uma vez que eles representam 40% do uso de energia da UE e 36% de suas emissões totais de CO₂ [44].

Outro artifício que pode ser utilizado para atingir este objetivo é a implementação de diferentes sistemas de fachadas, que sejam adaptados às condições da região onde será construído o edifício e aos requisitos exigidos. Desta forma, os novos projetos têm como objetivo a melhoria acústica, de iluminação e do conforto térmico dos ambientes [45]. Um exemplo da possível solução é o aumento da utilização de luz natural combinadas com detalhes arquitetônicos como prateleiras de luz e sombreamento externo. O uso de painéis de vidro e outros materiais transparentes, muito utilizados em fachadas duplas, também podem ser utilizados para favorecer este tipo de economia ao possibilitar a entrada de luz natural. No entanto, o ganho de calor solar que passa através do vidro pode criar desconforto e aumentar o consumo de energia para resfriamento durante o verão [45, 46].

Estas preocupações ambientais atuais incentivam os projetistas a conceber edifícios visando estes objetivos. No entanto, a utilização de diferentes materiais para o revestimento externo e isolamento contínuo, como é o caso do poliestireno expandido e do poliisocianurato, faz com que aumentem os desafios de segurança contra incêndios, já que muitos dele possuem graus de inflamabilidade [13].

É importante realçar que o uso destes materiais pode levar a graves consequências em caso de incêndio. Casos históricos mostraram que estes materiais promovem a propagação do fogo na fachada e engolfam todo o edifício em poucas horas, causando uma perda imensa em termos de vida e propriedade [6, 41]. Um exemplo foi o que ocorreu na Torre Grenfell, em menos de 15 minutos o fogo já estava fora de controle e os estragos causados eram irreversíveis [6].

Os materiais inflamáveis utilizados na fachada do edifício foram a principal causa do rápido alastramento das chamas, mas não a única. O fato de a fachada utilizada ter sido a do tipo ventilada fez com que o fogo se espalhasse na caixa de ar de ar, que funcionou como uma chaminé, facilitando a propagação do fogo para outras partes do edifício [47].

Portanto, é fundamental realizar estudos e entender o papel dos diferentes componentes da fachada, seja a configuração ou os materiais utilizados, no desenvolvimento do cenário de incêndio. Mas não apenas isso, a fachada funciona como um sistema complexo, onde as interações entre os componentes podem acarretar situações de incêndio inesperadas.

Dado este contexto, é necessário realizar um aprofundamento nos tipos de fachadas mais utilizados atualmente e quais materiais são aplicados. Assim, será possível entender quais os mecanismos que são os principais responsáveis pela ocorrência de incêndios e quais as medidas que podem ser adotadas para a prevenção de incêndio em grandes edifícios.

A seguir serão apresentados na Figura 3.1 os tipos mais comuns de fachadas utilizados atualmente em Portugal.

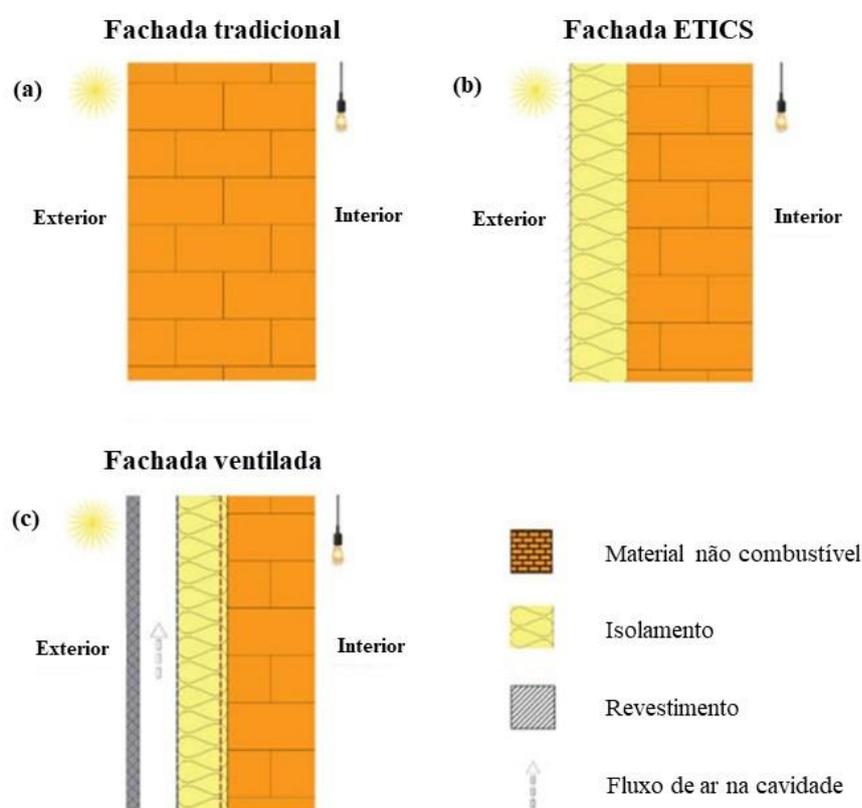


Figura 3.1 - Tipos de fachadas presentes na legislação portuguesa [4].

3.1 Fachadas tradicionais

As fachadas tradicionais são consideradas o tipo de fachadas mais simples. A fachada tradicional tem na sua composição materiais simples e não possuem revestimentos adicionais, como é o caso do isolamento térmico e acústico. Este tipo de fachada traz como benefício a sua durabilidade e resistência além da baixa degradação às intempéries. Além disso, os materiais utilizados podem

apresentar um visual mais rústico e têm sido utilizadas em construções desde tempos antigos, como pode ser visto na Figura 3.2.



Figura 3.2 – Casas portuguesas construídas em xisto [48]

Inicialmente as paredes deste sistema eram do tipo monolíticas, que possuíam estruturas construídas em pedra maciças, com poucas juntas e elementos separados, e tinham como principais constituintes o betão e a pedra natural. Estes materiais possuem grande versatilidade, pois podem ser moldados e esculpido de acordo com o projeto arquitetónico [30].

Com o passar do tempo novos materiais foram sendo incluídos para aprimorar este sistema, sendo aplicados nas estruturas de alvenaria simples e tem como materiais principais o tijolo ou betão, assim como sistemas de fachadas em vidro, como é o caso das cortinas envidraçadas.

Estas fachadas são geralmente constituídas por materiais com características não combustíveis, visto que muitas vezes não é realizada a utilização de sistemas adicionais para isolamento térmico ou revestimentos especiais. Mas mesmo sem a presença destes materiais é possível verificar que as fachadas tradicionais apresentam riscos quando expostos a altas temperaturas [49, 50].

Após o início de incêndio, a exposição da parede à radiação emitida pelas chamas por longos períodos acaba por reduzir o desempenho mecânico da estrutura. Este fenómeno ocorre devido a uma descamação da parede, que se trata de esfarelamento de partes da alvenaria que levam a um aumento significativo da sua vulnerabilidade em relação ao fogo, como pode ser visto na figura 3.3. Este fenómeno está relacionado com o facto de os materiais utilizados não possuírem uma boa resistência térmica, que é agravada pelo desgaste com a exposição contínua a temperaturas elevadas [49, 51].

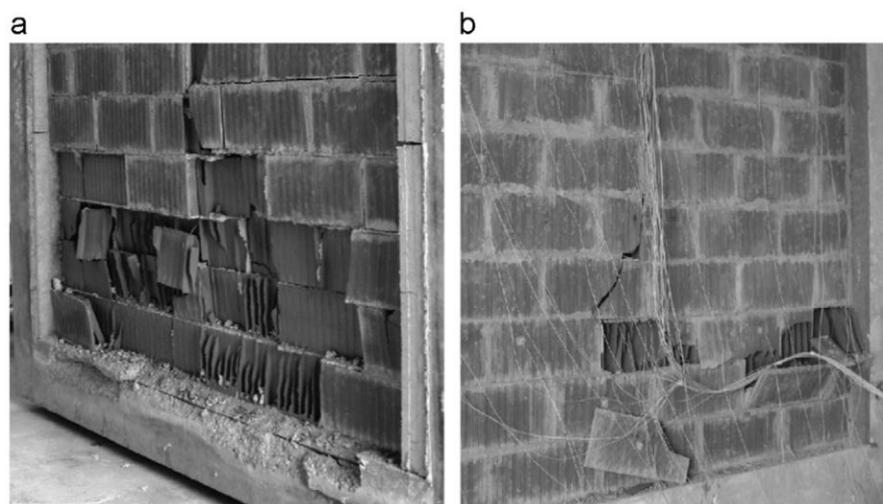


Figura 3.3 - Efeitos da exposição a altas temperaturas. (a) Direta. (b) Indireta [49]

Tal degradação tem impactos na estrutura da edificação, a escamação gera detritos que podem levar a queda de objetos, quando se trata das paredes exteriores. Além disso, o enfraquecimento gerado pelo desprendimento de materiais pode levar à rotura da mesma e contribuir para o colapso da edificação [51]. Assim, as fachadas tradicionais podem não contribuir diretamente para o aumento do incêndio, mas criam o potencial problema quando o quesito é garantir a compartimentação do fogo entre os ambientes.

Quando se trata das fachadas em vidro os riscos associados estão relacionados com a sua quebra, como pode ser visto na Figura 3.4. É comum que durante incêndios em edificações com este tipo de fachada ocorra a quebra das placas de vidro e com isso abre-se uma comunicação direta com o ambiente externo. Com este caminho livre o ar exterior entra e repõe o recinto, o que alimenta a chamas e acaba por aumentar a dimensão do fogo. Além disso, a abertura gerada pela quebra fornece um espaço no qual ocorre o fenómeno de “salto” do fogo entre os andares [33, 50].



Figura 3.4 – Rotura de fachada de vidro exposta à condições de incêndio [52].

A principal causa que influencia o surgimento de fissuras é a diferença de temperatura entre os ambientes externo e interno (e também o diferencial na altura do vidro), bem como o número e a

localização das fixações. Além disso, este tipo de sistema pode conter pequenas quantidades de material combustível, como isolamento nas molduras de conexão de uma cortina de vidro. Em termos de inflamabilidade, esse material representa um risco baixo, pois a carga total de combustível geralmente é pequena e as áreas conectadas de material inflamável são limitadas, o que impede a propagação das chamas. No entanto, tal configuração não atende aos requisitos de eficiência energética mais rigorosos das fachadas modernas, que exigem maior complexidade e sofisticação [33, 53].

3.2 Fachadas em ETICS

O desempenho energético dos edifícios pode ser melhorado principalmente por meio da implementação de envoltórios de edifícios com maior eficiência térmica. Dentro das várias tecnologias possíveis para aprimorar a eficiência térmica dos edifícios, os Sistemas de Isolamento Térmico Exterior são os sistemas de fachada mais comumente utilizados na Europa [42]. Este sistema consiste em aplicar uma camada de isolamento térmico na parte externa da fachada, que irá receber uma camada superficial de revestimento para realizar o acabamento e melhorar a aparência da fachada, como pode ser visto na Figura 3.5. Para além disso, os ETICS podem oferecer benefícios adicionais, como melhoria acústica e proteção contra a humidade.



Figura 3.5 – Representação esquemática de uma fachada em ETICS [54]

O objetivo do sistema ETICS é evitar a transferência de calor entre o interior e o exterior do edifício, reduzindo assim o consumo de energia necessário para manter a temperatura confortável no interior. Para isso, são utilizados materiais isolantes na face externa da alvenaria, que tem o papel de reduzir as trocas térmicas [13]. Estes materiais podem ser caracterizados como não combustíveis ou combustíveis, entre eles os mais comuns são lã mineral, EPS e poliestireno extrudado (XPS) [41].

Sobrepondo o isolamento existe uma camada de revestimento, que possui uma fina espessura, de aproximadamente 2 a 12 mm, e que tem como funções proteger o isolamento das intempéries, como água e radiação solar, assim como servir de barreira em casos de incêndio [41, 55]. Entre os materiais que podem ser utilizados como revestimento estão as pedras naturais, ladrilhos de tijolos, substratos em madeira e até mesmo ser aplicado uma segunda camada de ETICS para melhorar a resistência térmica e atender aos requisitos atuais [54].

Num cenário de incêndio os materiais de isolamento térmico combustíveis, como o EPS, podem aumentar significativamente a carga de incêndio e o risco de propagação das chamas nos edifícios, devido à reação ao fogo desses materiais. Como referido anteriormente, o revestimento tem como uma das suas funções proteger o material isolante. No entanto, essa camada fina pode ser facilmente rompida, permitindo que as chamas atinjam diretamente o isolamento e propaguem o fogo. Experimentos em escala real indicam que a propagação de chamas neste tipo de fachada é mais provável do que em outros tipos [55].

Além disso, a destruição do revestimento externo causada pelo fogo pode originar a queda de gotículas de isolamento termoplástico em chamas, o que pode causar um novo foco de incêndio na base da fachada, como pode ser visto na Figura 3.6. Como forma de solucionar a problemática da reação ao fogo nestas fachadas vem sendo aplicada a utilização barreiras construídas em materiais não combustíveis, que tem a função de limitar a propagação das chamas, mas ainda não há um consenso sobre a sua eficácia desta técnica [12, 42].



Figura 3.6 - Desenvolvimento das chamas em fachadas ETICS de (a) EPS e (b) XPS [12]

3.3 Fachadas ventiladas

As fachadas ventiladas são um tipo de sistema de revestimento de fachadas que é composta por três partes principais, a primeira trata-se da camada mais externa de revestimento, seguida por uma camada de isolamento térmico/acústico e termina com uma camada de suporte interna em alvenaria. Entre as camadas existe um espaçamento que permite que o ar circule, possibilitando uma ventilação por este meio.

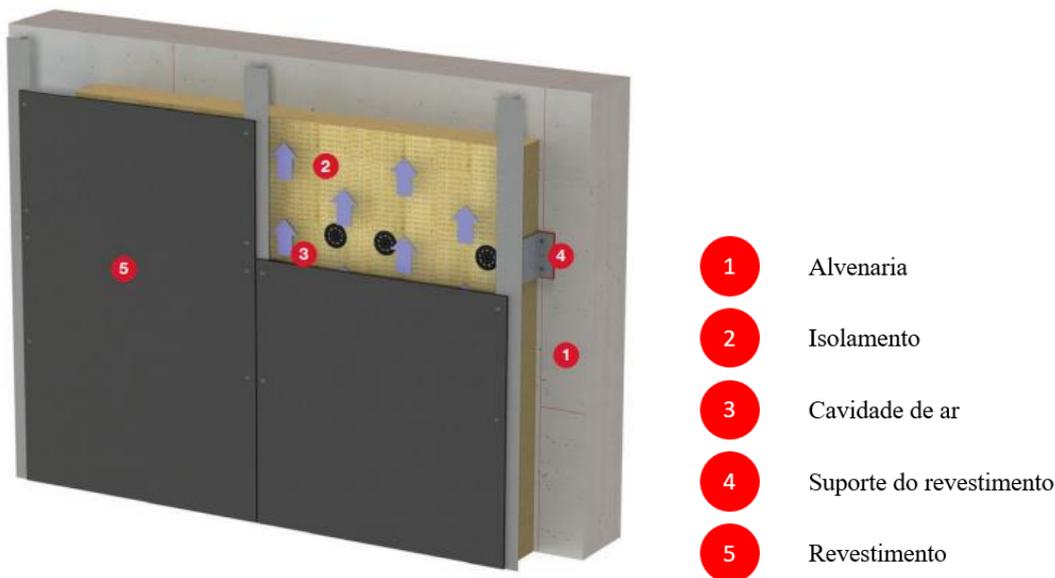


Figura 3.7 - Representação esquemática de uma fachada ventilada [56]

Este sistema pode ser revestido com diversos materiais, desde pedras naturais, como granito e mármore, até materiais industrializados, como fibrocimento, gesso, cerâmica, painéis laminados, entre outros. Estes materiais são fixados à estrutura de suporte da fachada por meio de um sistema de fixação adequado.

A câmara formada devido separação do revestimento da parede traz a possibilidade de instalar um sistema de isolamento térmico em toda a superfície do edifício, reduzindo a troca de energia com o exterior. Devido à sua versatilidade é possível a instalação de diversos materiais isolantes, sendo os mais utilizados o poliestireno expandido, o poliuretano flexível, o poliisocianurato e a lã de rocha. Além disso, o ar pode circular livremente entre as placas, o que ajuda na regulação da temperatura na fachada. Deste modo este sistema traz como principal benefício a redução no consumo energético com a climatização do ar no ambiente interno.

A circulação de ar na camada interna ventilada pode ocorrer de duas formas, primeiramente, no verão a camada exterior protege o edifício contra a exposição direta aos raios solares, e a câmara de ar ventilada permite a circulação de ar por convecção, promovendo a dissipação da energia acumulada e mantendo a temperatura equilibrada. Já no inverno, aquela camada de ar utiliza ventilação por convecção como meio de redução do teor de humidade, por meio da evaporação ou condensação, eliminando o aparecimento de fungos e melhorando o desempenho do isolamento térmico [4, 31, 46].

Além disso, a maioria dos revestimentos utilizados em fachadas ventiladas são impermeáveis ou possuem um coeficiente de absorção reduzido, o que protege a alvenaria do edifício da pluviosidade. Outro benefício importante é o aumento na proteção acústica, já que a separação entre o revestimento e o edifício reduz significativamente o nível de ruído no ambiente interno.

Além disso, a fácil renovação e manutenção em caso de danos na alvenaria ou no revestimento são outras vantagens importantes desse tipo de sistema, Figura 3.8.

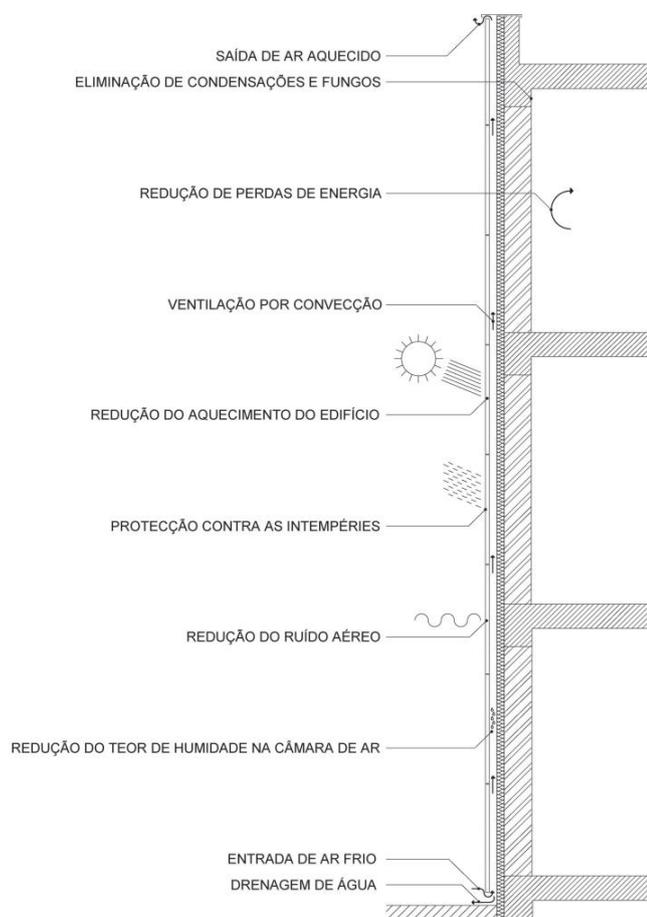


Figura 3.8 - Funcionamento e benefícios das fachadas ventiladas [31]

Como se viu anteriormente, a lista de materiais que são utilizados para isolamento térmico inclui quase sempre polímeros em alguma quantidade. Estes materiais oferecem desempenho térmico geralmente melhor do que outros materiais isolantes, além de propriedades mecânicas que podem ser manipuladas e adaptadas para atender a diferentes necessidades. No entanto, é importante destacar que estes materiais possuem certo grau de inflamabilidade, agravando os riscos envolvendo o espalhamento das chamas durante um incêndio [57]. Portanto, embora os polímeros apresentem melhores propriedades isolantes do que os isolamentos que utilizam compostos minerais, é necessário considerar cuidadosamente os riscos associados à sua aplicação.

Incêndio em fachadas ventiladas chamam a atenção devido à sua rápida propagação e à intensidade das chamas geradas. Tal comportamento pode ser explicado pela presença da camada de ar presente neste tipo de sistema, como anteriormente citado [58, 59]. O fogo neste compartimento comporta-se de maneira diferente dos espaços abertos ou com paredes próximas. Quando o incêndio se inicia o espaço da camada é constantemente preenchido com ar fresco devido à alteração da pressão criada a partir da diferença de temperatura gerada. O ar interno é

aquecido (600-800 °C) e sobe, sendo repostado pelo ar externo mais frio (30-40 °C). Assim, este efeito irá criar uma corrente de convecção no interior da camada de ar favorecendo a circulação do ar, o que alimenta e tende a acelerar a propagação das chamas. Tal fenômeno é comumente denominado de “efeito chaminé” e pode ser observado na Figura 3.9 [57, 60].

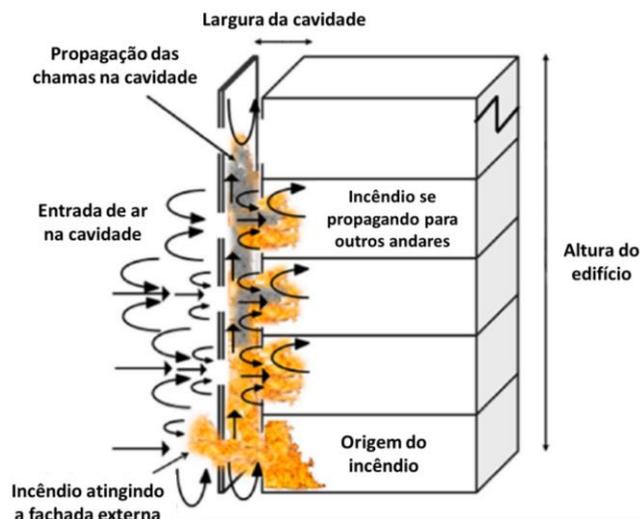


Figura 3.9 - Esquemática do efeito chaminé [60]

No caso das fachadas ventiladas o efeito chaminé é agravado devido à grande concentração de materiais combustíveis na sua composição, que em conjunto com a sua estrutura fazem um sistema complexo em que vários fatores podem contribuir de maneira a adicionar aos riscos associados a incêndios. Além disso, em espaços estreitos os fatores externos como a oferta limitada de ar para a combustão e a influência do efeito chaminé resultam num aumento da radiação entre as paredes próximas e na limitação da perda de calor para o exterior, contribuindo na taxa de espalhamento das chamas [60, 61].

3.4 OUTROS TIPOS DE FACHADAS

3.4.1 Fachada dupla (cortina em vidro)

A fachada de vidro duplo trata-se de um sistema onde duas camadas de vidro são separadas por uma grande camada de ar. Normalmente, a camada externa do vidro é fixa, enquanto a interna pode ser operável para permitir a ventilação interna e o controle do ganho de calor solar. É importante destacar que a camada de ar deste sistema é significativamente maior em comparação a um sistema de fachada ventilada, pois a sua função principal é limitar a transferência de calor e controlar os níveis de luz, e não ao controle de humidade [62].



Figura 3.10 - Edifício com sistema de fachada dupla [62]

Deste modo, o espaço entre as camadas funciona como um amortecedor térmico, reduzindo a transferência de calor entre o ambiente interior e exterior, podendo levar a economias significativas de energia, tanto nos custos de aquecimento como nos de resfriamento. Assim, este sistema tem como benefício uma maior eficiência energética, melhoria da qualidade ambiental interna e maior conforto para os ocupantes [63, 64].

Além disso, a fachada dupla também tem o potencial de melhorar o isolamento acústico, reduzindo a interferência do ruído externo e criando um ambiente interno mais tranquilo. A camada interna de vidro operável pode ser utilizada para controlar a ventilação natural, fornecendo uma fonte de ar fresco para o interior do edifício [64, 65].

Como há poucos materiais combustíveis presentes, esse sistema de fachada não apresenta os mesmos riscos de propagação de chama que os outros sistemas. No entanto, ele pode fornecer um canal para a propagação de fumo aprimorado entre os andares, e a física da transferência de calor e massa têm sido estudadas [63, 65].

3.4.2 Fachada com caixa de ar preenchida

A fachada com caixa de ar preenchida possui uma camada de isolamento entre duas camadas protetoras de material que impedem que as chamas atinjam diretamente o isolamento, como pode ser visto na Figura 3.11. Isto pode representar uma parede de alvenaria preenchida ou talvez paredes de betão pré-moldadas com uma caixa de ar preenchida. Esses sistemas de fachada são mais frequentemente usados em edifícios de baixo porte [35, 36].

Neste tipo de sistema o parâmetro mais importante na avaliação da inflamabilidade é a profundidade das camadas protetoras. Quanto mais profunda for a camada externa, mais tempo levará para que o isolamento aqueça e então derreta [36]. Em situações de incêndio esta fachada pode limitar a propagação das chamas ao longo da camada de isolamento, nos casos em que a parede de alvenaria possua uma lacuna suficientemente limitada para evitar o impacto direto das chamas.

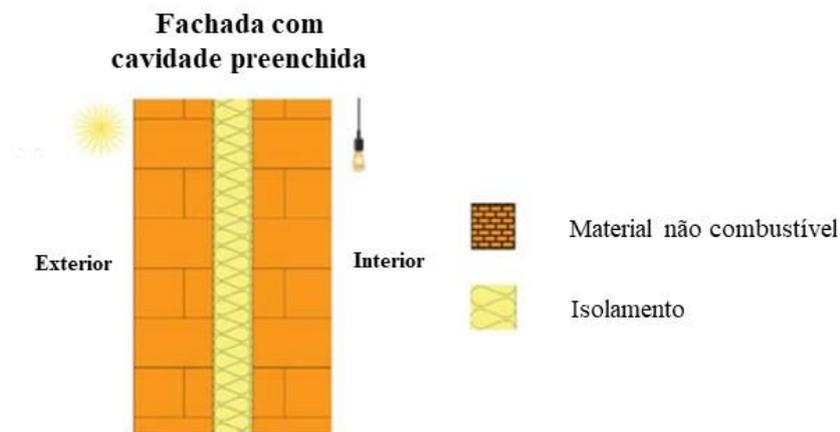


Figura 3.11 - Esquemática de uma fachada com caixa de ar preenchida [4].

Então o fator chave para controlar os riscos de incêndio em edificações com fachadas com camada de ar preenchida é o de controlar a profundidade desta camada. Com isso é possível limitar o tempo e as quantidades substanciais que podem ser queimadas [35]

No entanto, o isolamento termoplástico, como o EPS, pode derreter ao ser aquecido e formar vazios no interior da caixa de ar, aumentando a taxa de propagação das chamas. Alternativamente, o plástico em chamas pode pingar através de lacunas formadas na parede, fornecendo mais combustível para o fogo ou gerando novos focos de incêndios mais abaixo na fachada [29, 36].

3.4.3 Painéis sanduíche

Os painéis sanduíche, às vezes referidos como painéis de isolamento metálicos, são outro sistema em que uma camada de isolamento é cercada por duas camadas protetoras, como pode ser visto no esquema da Figura 3.12. Em instalações industriais, essas camadas externas geralmente são compostas por algum tipo de metal para fornecer uma superfície inerte e que possa ser facilmente limpa. Assim, este sistema oferece uma boa resistência mecânica e proteção contra intempéries, reduzindo a necessidade de manutenção e prolongando a vida útil da fachada [32], [66].

Para edifícios residenciais de baixa altura, essas camadas externas também podem ser feitas de madeira compensada, gesso ou placas de cimento [66, 67]. Porém neste sistema é necessário considerar aspectos como a ventilação adequada da fachada e o controle da humidade para evitar problemas de condensação e proliferação de fungos e bactérias.

Em termos de composição, as placas exteriores são relativamente finas possuindo espessuras com cerca de 0,5 mm para painéis isolantes metálicos e 10 mm para painéis de madeira ou gesso. Esta característica faz com que o material utilizado no isolamento térmico esteja mais suscetível

às radiações geradas num incêndio. Assim, se o núcleo isolante do painel for combustível, há um risco significativo de ele se incendiar e contribuir para um incêndio [32].

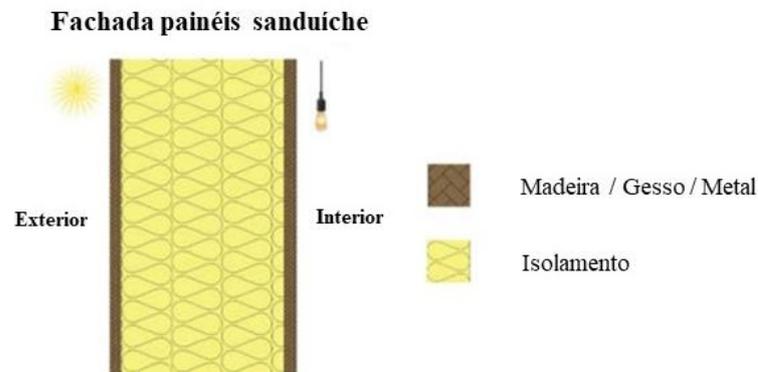


Figura 3.12 - Esquemática de uma fachada de painéis sanduíche [4]

Outro aspeto que pode influenciar na inflamabilidade das fachadas são as conexões e juntas entre os painéis individuais. Construções que possuem uma lacuna maior entre as juntas dos painéis têm um aumento significativo na perda de massa do isolamento dentro dos painéis, o que pode levar a uma redução no tempo de resistência ao fogo dos painéis [33].

3.4.4 Fachadas ecológicas

Como mencionado anteriormente, a consideração dos aspetos ambientais é uma preocupação cada vez mais presente no processo de conceção de novas edificações, e, por consequência, sistemas inovadores têm sido desenvolvidos com esta temática, como é o caso da fachada verde, também conhecida como jardim vertical. Esta estrutura consiste numa parede na qual plantas crescem através de uma malha reforçada ou a partir de algum tipo de substrato. Como resultado, a fachada é coberta por uma camada vegetal que promove a melhoria do microclima nos ambientes internos, trazendo benefícios como o aprimoramento da eficiência energética, redução dos níveis de ruído e melhoria da qualidade do ar em contextos urbanos [68, 69].



Figura 3.13 - Fachada verde em edifício residencial [68]

No entanto, o substrato utilizado para o crescimento das plantas é comumente feito de um polímero combustível. Apesar de existir pouca pesquisa sobre o impacto deste tipo de técnica na propagação das chamas, a estratégia atual de segurança contra incêndios preocupa-se em garantir que as plantas não sequem e que as espécies vegetais utilizadas sejam, em geral, menos suscetíveis à queima [70].

Um outro tipo de fachada que tem ganhado destaque pela sua justificativa ecológica é o sistema de fachada fotovoltaica ou solar, que incorpora células solares à estrutura do edifício para captar a luz solar e convertê-la em energia elétrica adicional para o prédio. Com isso, este sistema reduz o consumo de energia elétrica da rede e aumenta a eficiência energética do edifício, proporcionando benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a economia do local [71].



Figura 3.14 - Fachada de edifício construída com painéis fotovoltaicos [71]

Em contrapartida, estas células representam um risco de ignição para materiais combustíveis dentro de um sistema de fachada. Até o momento, há pouca pesquisa publicada sobre o comportamento do fogo de painéis solares verticais disponíveis, mas há movimento no sentido de estabelecer estratégias de segurança e diretrizes de teste para estes sistemas de fachada à medida que eles se tornam mais populares [72].

4 REAÇÃO E RESISTÊNCIA AO FOGO EM EDIFÍCIOS

4.1 INTRODUÇÃO

Entender como um incêndio se desenvolve é fundamental para compreender o que leva ao elevado número de ocorrências que vêm sendo observadas atualmente. Esta compreensão passa pelo entendimento dos mecanismos que influenciam nos aspetos relacionados à reação e resistência ao fogo dos materiais utilizados na construção de fachadas. Tal conhecimento é essencial para se pensar e desenvolver medidas que visam mitigar os crescentes riscos associados a este componente da construção.

Inicialmente, é preciso entender como funciona a combustão dos materiais. Este é um fenómeno físico-químico caracterizado por uma reação de oxidação, que tem como alguns dos produtos a emissão de calor e luz. Os quatro componentes que devem coexistir para favorecer a ocorrência da combustão são:

- Combustível: qualquer substância capaz de produzir calor por meio de reação química da combustão;
- Comburente: substância que alimenta a reação química da combustão (o oxigênio é a mais comum);
- Calor: energia térmica que se transfere de um sistema para outro em virtude da diferença de temperatura entre os dois;
- Reação em cadeia: a sequência dos três eventos acima, que resulta na combustão propriamente dita.

Deste modo, durante o desenvolvimento de um incêndio o aquecimento dos materiais irá gerar vapores combustíveis que se desprendem de sua superfície e se misturam ao ar do compartimento. Assim, é gerado uma mistura inflamável que é a responsável pela ignição dos materiais. Basta uma fagulha ou mesmo o simples contacto com uma superfície muito aquecida, para que apareça uma chama na superfície dos materiais combustíveis, Figura 4.1.

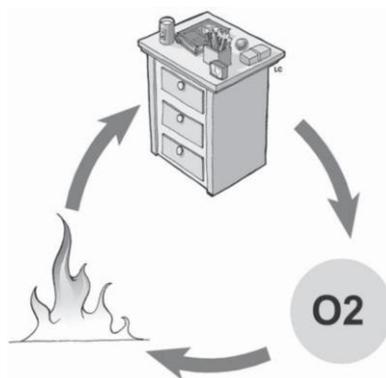


Figura 4.1 - Elos da reação em cadeia [73]

Para controlar ou extinguir um incêndio, é necessário entender como os elementos presentes nas fachadas se enquadram nos quatro componentes da combustão. Devido às fachadas estarem em um ambiente externo, dificilmente será possível controlar parâmetros como a quantidade de comburente presente, assim, resta estabelecer medidas que tenham como objetivo mitigar algum dos outros elos da reação. A utilização de materiais não combustíveis e de outros elementos que consigam impedir a reação em cadeia pode ser uma técnica aplicada com esta função.

Assim, durante o projeto de uma fachada deve-se ter em consideração que é necessário implementar na concepção do projeto meios que retardem ou impeçam a propagação das chamas nas fachadas, visto que este elemento estrutural está presente em toda face externa do edifício e pode burlar a compartimentação entre pisos. Materiais combustíveis devem ser evitados para evitar este cenário, e além disto, deve-se ter atenção a sua combinação com sistemas de fachadas que podem agravar os riscos presentes, como é o caso das fachadas ventiladas.

Além disto, o calor gerado durante a queima pode ser transmitido de três maneiras: convecção, radiação e condução. Na convecção, o calor é transferido através da diferença de densidade dos gases. Gases quentes, que são menos densos, sobem enquanto gases frios e mais densos descem, esta ação pode criar o contato entre os gases quentes e os objetos próximos e transferindo calor entre eles. A radiação envolve a propagação de ondas de calor no ar ou no vácuo, de um objeto quente para a superfície de um objeto mais frio. Esse calor radiante é transferido sem a necessidade de um meio material. Já na condução, o calor é transferido através de um material sólido, movendo-se de uma região com temperatura elevada para uma região com temperatura mais baixa dentro desse material [73].

Com este conhecimento é possível compreender os princípios que regem o comportamento das chamas em situações de incêndio. Dado isto, o texto apresentado a seguir trará diversos aspectos que são utilizados para melhor entender a propagação das chamas em fachadas e, a partir disto, analisar os métodos utilizados para o controle.

4.2 COMPARTIMENTAÇÃO DOS RECINTOS

A compartimentação trata de uma medida de segurança passiva que tem como objetivo conter o incêndio no ambiente ou pavimento onde se iniciam. Ela é alcançada ao subdividir o edifício em células capazes de resistir à propagação da queima dos materiais combustíveis nelas contidos, evitando assim o rápido alastramento do fogo, permitindo assim a evacuação segura dos ocupantes. Existem dois tipos principais de compartimentação em edifícios: horizontal e vertical.

A compartimentação horizontal tem como objetivo principal evitar a propagação do incêndio dentro do próprio pavimento onde ele teve origem, de forma a impedir que grandes áreas sejam afetadas. Para isto, o edifício deve ser dividido em compartimentos que devem ser capazes de suportar o calor proveniente da queima dos materiais por um certo período de tempo [74].

Diversos elementos podem ser utilizados para garantir a implementação da compartimentação horizontal nos recintos, como os dispositivos a seguir, Figura 4.2:

- Paredes corta-fogo são construídas com materiais resistentes ao fogo, sendo estruturas instaladas para subdividir e separar grandes áreas de um pavimento, estendendo-se desde o piso até o teto ou até a abertura existente. Essas paredes são projetadas para resistir ao fogo e têm como objetivo principal evitar a sua propagação.
- Portas corta-fogo são portas especialmente projetadas e colocadas nas aberturas das paredes corta-fogo, permitindo a circulação segura de pessoas e equipamentos. Elas são construídas com materiais resistentes ao fogo e desempenham um papel fundamental na contenção do incêndio.
- O registros corta-fogo trata-se de dispositivos instalados em dutos de ventilação, exaustão e outras passagens que atravessam as paredes corta-fogo. Esses registros são projetados para evitar a propagação do fogo através desses sistemas e garantir a compartimentação adequada.
- A selagem corta-fogo são aplicados nas passagens de cabos elétricos e tubulações que atravessam as paredes corta-fogo. Esta selagem têm a finalidade de manter a integridade da compartimentação, impedindo a propagação do fogo através dessas aberturas.

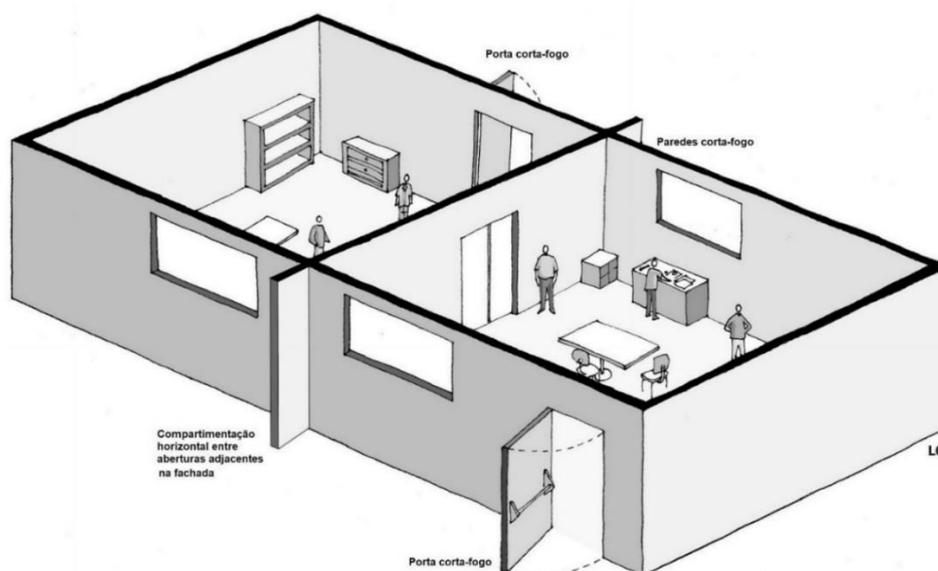


Figura 4.2 - Elementos utilizados na compartimentação horizontal [73]

Por sua vez, a compartimentação vertical visa prevenir a propagação do fogo entre pavimentos adjacentes. A implementação desta medida visa garantir que os recintos de cada pavimento constituam um compartimento isolado em relação aos demais [11, 74]. Para realizar a compartimentação vertical num edifício devem ser utilizados elementos que possuem resistência ao fogo na ligação com o exterior e nos ambientes de comunicação com os demais pisos. Assim,

para se atingir este nível de compartimentação devem ser aplicados os seguintes dispositivos e elementos, Figura 4.3:

- A selagem corta-fogo também pode ser aplicada neste caso, onde a passagem dos cabos elétricos e tubulações ocorre entre os pavimentos. Estes selos têm a finalidade de evitar a passagem do fogo através dessas aberturas, mantendo a integridade da compartimentação vertical.
- Entrepisos corta-fogo: São estruturas projetadas para dificultar a passagem do fogo de um pavimento para o restante do edifício. Esses elementos corta-fogo são instalados entre os pavimentos, criando uma barreira que ajuda a conter o incêndio no local onde ele começou.
- Enclausuramento de escadas: Consiste na construção de paredes e portas corta-fogo que isolam as escadas dos demais espaços do edifício. Esse enclausuramento é fundamental para garantir rotas de fuga seguras, protegendo as escadas contra a propagação do fogo.
- Selagem perimetral corta-fogo: Envolve a aplicação de materiais e sistemas que vedam de forma adequada as aberturas perimetrais, como janelas e portas, evitando a disseminação do fogo entre pavimentos adjacentes.
- Dispositivos automatizados corta-fogo: São mecanismos que acionam cortinas ou persianas corta-fogo automaticamente em caso de incêndio. Esses dispositivos isolam áreas específicas do edifício, impedindo a propagação do fogo.
- Elementos construtivos corta-fogo de separação vertical: São componentes estruturais projetados para criar uma divisão vertical entre os pavimentos consecutivos. Esses elementos são fundamentais para criar uma barreira eficaz contra a propagação do fogo.
- Registros corta-fogo (dampers): São dispositivos instalados em sistemas de ventilação e exaustão, que podem ser acionados para bloquear a passagem de fumaça e fogo entre os pavimentos.

A implementação adequada desses dispositivos e elementos contribui para uma compartimentação vertical eficiente, prevenindo a propagação do fogo entre os pavimentos do edifício e garantindo a segurança dos ocupantes.

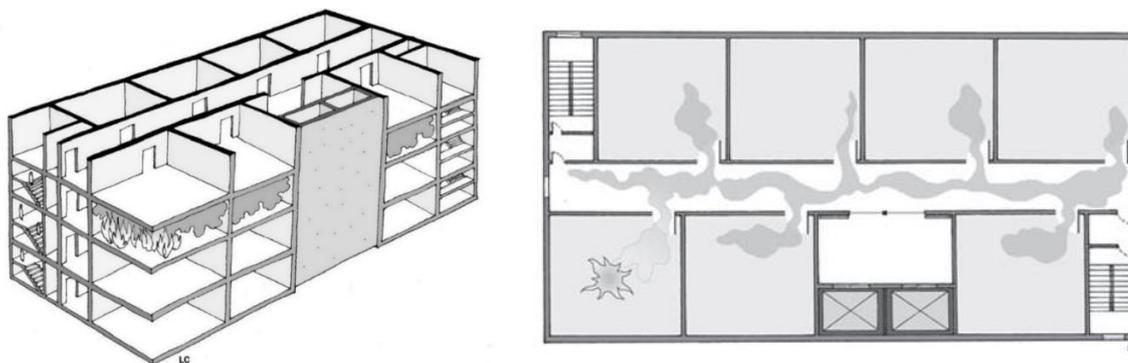


Figura 4.3 - Compartimentação vertical entre pavimentos (escadas e elevadores) [73]

A compartimentação ao fogo também é um aspeto importante a ser considerado nas fachadas de edifícios. As fachadas desempenham um papel crucial na proteção contra incêndios, pois são uma das principais vias de propagação vertical do fogo num edifício, Figura 4.4.

Existem várias estratégias para alcançar a compartimentação ao fogo nas fachadas. Uma delas é o uso de materiais de revestimento resistentes ao fogo, que possuem propriedades retardadoras de chamas e reduzem a velocidade de propagação do fogo ao longo da superfície da fachada. Esses materiais são projetados para resistir às altas temperaturas e retardar o avanço das chamas, evitando que elas se alastrem vertical ou horizontalmente. Além disso, podem ser utilizadas barreiras entre os pavimentos de modo que as chamas não consigam atingir a abertura do pavimento superior [11, 74].

Além das medidas de compartimentação, as fachadas devem ser projetadas levando em consideração aspetos como a ventilação adequada e acesso para bombeiros. Isso inclui a instalação de aberturas estrategicamente posicionadas para permitir a desenfumagem e a disponibilidade de pontos de penetração para bombeiros, como escadas externas ou plataformas elevatórias.

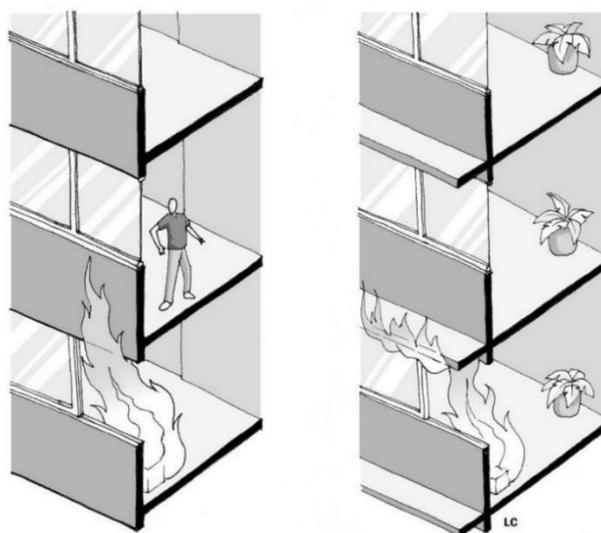


Figura 4.4 - Compartimentação vertical em fachadas [74]

4.3 CLASSIFICAÇÃO DOS PRODUTOS

4.3.1 Enquadramento

No passado, a falta de padronização na avaliação do desempenho contra incêndios de produtos de construção na Europa causou dificuldades para fabricantes e projetistas, onde continuamente eram introduzidos novos produtos no mercado que geravam dúvidas devido à diversidade de aplicações. Como forma de remediar este problema, foi introduzido um sistema de classificação

de reação ao fogo, em apoio à Diretiva de Produtos de Construção (DPC), com o objetivo de harmonizar os ensaios e substituir os padrões nacionais existentes.

A interpretação dos resultados dos testes e a classificação de resistência ao fogo são realizadas considerando as condições específicas de cada aplicação, com regras aplicáveis ao Campo de Aplicação Direta (CAD) e ao Campo de Aplicação Estendida (CAE). As regras aplicadas ao CAD são mais restritas, permitindo apenas variações menores dentro de um projeto testado, enquanto as regras do CAE permitem uma maior flexibilidade, desde que dentro dos limites aceitos de conhecimento e experiência [27, 75]. A União Europeia continua discutindo as regras do CAE e já publicou padrões como orientações para a aplicação direta e estendida. Porém, ainda cabe a cada país decidir o nível de classificação de segurança contra incêndios para diferentes aplicações.

As regulamentações de incêndio tradicionalmente abrangem três categorias básicas de padrões de incêndio: reação ao fogo, resistência ao fogo e desempenho externo ao fogo em coberturas. Atualmente, está sendo conduzida pesquisa para estabelecer uma abordagem europeia em relação ao "incêndio externo em fachadas", uma quarta categoria adotada por vários países. Essa necessidade surgiu devido à introdução de novos sistemas de fachada em edifícios e sua crescente importância no contexto da segurança contra incêndios [75].

4.3.2 Reação ao fogo

Um ensaio de reação ao fogo avalia a facilidade com que um produto pode ser inflamado e contribui para a propagação do fogo. Essa avaliação está principalmente relacionada com as fases iniciais do desenvolvimento de um incêndio e é especialmente relevante para os produtos expostos diretamente à fonte de ignição, como revestimentos de paredes, revestimentos de tetos e superfícies externas das paredes. Além disso, é importante avaliar o desempenho de produtos de construção durante a fase de construção e manutenção dos edifícios, como por exemplo, durante a soldagem dos elementos estruturais.

No sistema de classificação europeu, a reação ao fogo dos materiais é definida na normativa EN 13501 parte 1 e podem ser divididas em três partes, a primeira avalia a contribuição do material para o desenvolvimento das chamas. Neste critério os materiais são divididos em sete Euroclasses diferentes, A1, A2, B, C, D, E e F. Quando é especificado que não há resultados de desempenho determinados, isto indica que nenhum teste foi realizado.

A segunda classificação utilizada é a determinação da quantidade de fumo produzido, sendo dividido em s1, s2 e s3. Por fim, a terceira classificação é dada com base na formação de gotículas inflamáveis a partir da queima do material, d0, d1 e d2.

Um exemplo que pode ser dado é a classificação do material de isolamento poliuretano, a sua contribuição na propagação do incêndio pode variar de B a F, dependendo de uma variedade de fatores, incluindo os tipos de revestimentos utilizados, a formulação do material e as condições

específicas de uso final. Em termos de desenvolvimento de fumo, o material pode variar entre s1 e s3, devido aos mesmos motivos. No entanto, estudos apresentam que este material pode não produzir gotículas quando exposto a chamas e, portanto, pode alcançar a classe d0 [76].

Para determinar a Eucoclasse dos materiais são utilizados testes normatizados que avaliam o seu comportamento na presença das chamas. Estes testes são aplicados em todos os produtos aplicados na construção, exceto revestimento de pisos e cabos e são listados a seguir:

- O teste EN ISO 1182 avalia a não combustibilidade do material.
- O teste EN ISO 1716 determina o calor de combustão do material.
- O teste EN ISO 13823, conhecido como Teste do Item em Chamas Único (SBI), simula a exposição de uma amostra a uma chama de gás de 30 kW, representando um objeto em chamas em um canto específico.
- O teste EN ISO 11925-2 avalia a ignitabilidade do produto quando submetido ao impacto direto de uma chama pequena, como um isqueiro de cigarro.

A primeira etapa dos testes para produtos combustíveis é o EN ISO 11925-2, que simula a ignição de uma chama pequena aplicada na borda ou superfície do material em teste por um curto período de tempo. Esta etapa pode resultar em uma classificação E ou F. Neste teste, uma exposição de 30 segundos é aplicada quando objetivo é alcançar as classes B, C ou D.

No ensaio SBI, conforme o EN 13823, uma amostra é exposta a uma chama de gás de 30 kW, simulando os efeitos de um objeto em chamas num canto de um recinto, como é o caso de uma lixeira de papel. Os gases de exaustão são analisados para determinar a quantidade de oxigênio consumido e a quantidade de CO₂ libertada, permitindo o cálculo do calor através da combustão da amostra. A classificação principal é baseada nos critérios FIGRA (Taxa de Crescimento do Fogo) e THR (Liberação Total de Calor medida ao longo de 10 minutos), e para as classes mais altas, também é levada em consideração a propagação de chamas laterais.

No ensaio, também é medida a opacidade da fumaça no duto de exaustão, resultando nos critérios SMOGRA (Taxa de Crescimento da Fumo) e TSP (Produção Total de Fumo medida ao longo de 10 minutos), que são usados para a classificação do fumo do produto.

Para além dos testes citados, atualmente vem sendo aplicado um critério adicional na classificação de reação ao fogo. A norma EN 1673 define critérios de avaliação do potencial de combustão lenta ou contínua de um produto. Este é processos internos de combustão que ocorrem de forma lenta e podem resultar no surgimento de incêndios em locais distantes e após um certo intervalo de tempo desde a fonte de ignição inicial. Essa característica é considerada um risco significativo, pois pode levar à propagação oculta do fogo e à persistência de fontes de ignição mesmo após os bombeiros terem determinado que o incêndio foi completamente extinto [42].

Para avaliação dos materiais utilizados nos revestimentos de piso é utilizada o teste EN ISO 9239-1, em vez do teste SBI, que avalia a propagação horizontal da chama. Este teste tem como resultado a classificação entre classes A2fl a Dfl.

A tabela 4.1 apresenta de forma resumida os parâmetros gerais utilizados na classificação dos materiais em relação a sua reação ao fogo.

Tabela 4.1 – Classificação da reação ao fogo dos produtos da construção [42]

Classe	Testes	Classificação adicional	Exemplo de produtos
A1	EN ISO1182 EN ISO1716	-	Produtos feitos de pedra natural, concreto, tijolo, cerâmica, vidro e uma grande variedade de produtos metálicos
A2	EN ISO1182 EN ISO1716 EN 13823	Produção de fumo e formação de gotículas / partículas em chamas	Produtos como na classe A1, mas com pequenas quantidades de material orgânico
B	EN 13823 EN ISSO 11925-2	Produção de fumo e formação de gotículas / partículas em chamas	Placas de gesso com diferentes revestimentos (finos) e retardantes de fogo à base de madeira
C	EN 13823 EN ISO11925-2	Produção de fumo e formação de gotículas / partículas em chamas	Espumas fenólicas, placas de gesso com diferentes revestimentos (mais finos do que os da classe B)
D	EN 13823 EN ISO 11925-2	Produção de fumo e formação de gotículas / partículas em chamas	Produtos de madeira com espessura superior a 10 mm e densidade superior a 400 kg/m ³ (dependendo do uso final do produto)
E	EN ISO 11925-2	Formação de gotículas / partículas em chamas	Diferentes tipos de placas de fibra, produtos de isolamento e produtos feitos de plástico
F	Performance não determinada		Produtos que não foram testados em relação ao fogo (sem requisitos).

4.3.3 Resistência ao fogo

A resistência ao fogo é uma propriedade fundamental das estruturas e elementos construtivos, que desempenha um papel crucial na proteção contra incêndios e na segurança das edificações. Refere-se à capacidade de um elemento estrutural manter sua integridade, estabilidade e funcionalidade durante períodos específicos de exposição a altas temperaturas decorrentes de um incêndio desenvolvido.

A avaliação da resistência ao fogo é realizada por meio de testes padronizados, como os estabelecidos pelas normas EN 1363, EN 1364, EN 1365 e EN 1366. Estes testes envolvem a exposição dos elementos construtivos a condições simuladas de incêndio, com o objetivo de determinar o seu desempenho em relação a três aspectos principais: capacidade de suporte (R), integridade (E) e isolamento térmico (I).

- A capacidade de suporte (R) refere-se à capacidade do elemento estrutural de resistir às cargas e manter sua estabilidade durante o incêndio.
- A integridade (E) avalia a capacidade do elemento de conter as chamas e gases quentes, impedindo sua propagação para outras áreas da estrutura.
- O isolamento térmico (I) diz respeito à capacidade do elemento de limitar a transferência de calor, protegendo áreas adjacentes e preservando a funcionalidade da estrutura.

Os resultados dos testes de resistência ao fogo são expressos em termos de tempo, indicando por quanto tempo o elemento atende aos critérios estabelecidos para cada aspecto. Por exemplo, uma classificação de R120, E60 e I60 significa que o elemento manteve a sua capacidade de suporte por 120 minutos, a sua integridade por 60 minutos e ofereceu isolamento térmico por 60 minutos sob as condições de ensaio.

É importante ressaltar que a resistência ao fogo de uma estrutura não pode ser atribuída apenas aos produtos individuais utilizados na sua composição, mas sim ao conjunto completo da construção, incluindo os métodos de fixação. Portanto, a certificação de resistência ao fogo é concedida à construção como um todo, levando em consideração a combinação dos materiais utilizados e suas interações [73, 77].

Devido a esta característica, as avaliações de resistência ao fogo devem ser realizadas a partir de ensaios de escala real, fim de a representatividade da amostra de teste em relação ao elemento estrutural completo. Essa abordagem é necessária devido à complexidade e interação dos componentes envolvidos, incluindo a camada de impermeabilização e o isolamento, e leva em consideração o método de fixação específico adotado na construção. No contexto desta avaliação, a contribuição do isolamento para a resistência ao fogo está intrinsecamente ligada à configuração da construção. Por exemplo, um teste realizado num material utilizado como revestimento de uma fachada pode apresentar várias horas de resistência ao fogo, independentemente dos outros produtos utilizados. No entanto, uma vez que ocorre uma falha neste material, o desempenho dos demais produtos se torna irrelevante, pois a própria estrutura é comprometida [17, 73, 76].

Materiais como o isolamento rígido de poliuretano demonstra um pode apresentar uma boa resistência ao fogo de estruturas isoladas, atribuído às suas características termorrígidas e alta estabilidade térmica. Especificamente, o isolamento de PIR, onde alguns experimentos mostram que possui a capacidade de formar uma camada de carvão protetora, o que evita a decomposição do material e preserva a integridade estrutural mesmo sob condições de calor intenso resultante de um incêndio. Comparativamente a outros materiais de isolamento convencionais, as estruturas isoladas com PU/PIR têm demonstrado superar ou alcançar um desempenho equivalente [76].

Realizar a avaliação e classificação da resistência ao fogo desempenham um papel crucial no projeto e na construção de edificações seguras contra incêndios. Essas informações são essenciais para garantir a evacuação segura dos ocupantes, permitir a intervenção eficaz dos bombeiros e minimizar os danos causados pelo fogo.

4.4 PROPAGAÇÃO DAS CHAMAS EM FACHADAS

4.4.1 Considerações iniciais

Com a crescente demanda por economia de energia, é cada vez mais comum a aplicação de sistemas de isolamento térmico nas paredes externas de edifícios, visando o aumento da eficiência energética. No entanto, esta prática também levanta preocupações quanto à segurança contra incêndios, especialmente no que diz respeito às fachadas que possuem isolamento na sua constituição, pois como citado anteriormente, estes materiais são geralmente combustíveis e a sua utilização em um sistema de fachadas pode alterar o comportamento das chamas durante um incêndio.

A compreensão do conceito de reação ao fogo é fundamental para analisar o comportamento ao fogo das fachadas ventiladas. Esta compreensão envolve a percepção dos termos utilizados na classificação dos produtos que compõem o sistema, que deve ser feita a partir da realização de ensaios que irão avaliar as suas características, mas para isto é preciso que os padrões ótimos para limitar a propagação das chamas em fachadas esteja delimitado no aspecto normativo.

Nos últimos anos, vários países europeus têm implementado regulamentações específicas para prevenir este cenário e garantir a segurança de sistemas que possuem isolamento térmico em caso de incêndio. Ao contrário de outras aplicações em edifícios, as exigências que vem sendo implementadas para fachadas com isolamento não se baseiam apenas em ensaios laboratoriais, mas também em ensaios em escala real. Estes ensaios têm como objetivo demonstrar o comportamento completo da fachada durante um incêndio, levando em consideração tanto o isolamento quanto o revestimento [22, 75].

Nestes ensaios, as fontes e o desenvolvimento das chamas ao longo de uma fachada podem ser analisados com base na origem do incêndio. Um incêndio numa fachada pode ser iniciado externamente, a partir de uma fonte fora do edifício, como uma casa ou edifício em chamas próximo à fachada, atividades que envolvam fogo em varandas, incêndios em lixeiras, fogos de artifício, descarte descuidado de beatas de cigarro, incêndios elétricos causados por cabos passando pela caixa de ar da fachada ou incêndios criminosos.

No entanto, a fonte de incêndio mais comum e preocupante para uma fachada com isolamento é ocorrência de um "*flashover*" em uma divisão interior do edifício. Esta causa tem origem no interior da edificação, a partir de cargas de incêndio presentes nos recintos internos, e se propagarem para a fachada externa a partir de aberturas nas paredes, como portas, janelas e vidros quebrados devido ao *flashover* [73]. Na fachada as chamas alcançam a janela do andar acima do incêndio inicial e após um intervalo adicional de tempo, essa janela também é destruída

e o fogo se alastra para os objetos presentes neste outro compartimento. Quando ocorre o *flashover* no compartimento do próximo piso, o mesmo processo se repete. Tal incêndio sempre se propaga verticalmente, embora demande algum tempo [11, 76].

Os incêndios internos possuem medidas de controlo, como é o caso do sistema automático de sprinklers ou a ação dos bombeiros. No entanto, quando o incêndio ultrapassa os esforços destas medidas e atinge o estágio de *flashover*, a compartimentação é ultrapassada e as chamas se espalham facilmente na fachada. No caso de fachadas com isolamento, é fundamental que o sistema de isolamento não contribua para uma rápida propagação vertical das chamas.

Nesta fase, caso ocorra a degradação do material da fachada e a exposição do núcleo de isolamento, e se os componentes do sistema de revestimento, como selantes, revestimentos e isolamento, forem combustíveis, as chamas começam a consumir o material da fachada, se espalhando ao longo da sua superfície e ao longo da caixa de ar atrás dela, caso haja.

Outra possibilidade que pode ocorrer em fachadas que possuem caixa de ar de ar, é que caso não haja vedação contra incêndio nas lajes do piso, ou caso o material utilizado para essa vedação não esteja de acordo com os padrões aprovados ou instalados corretamente, e se a cortina de vidro não estiver de acordo com os padrões estabelecidos, as chamas penetram pelas aberturas e alcançam os andares superiores. Em alguns casos, as chamas também se podem propagar para os pisos inferiores, caso o material da fachada seja inflamável e produza gotículas [26, 78].

A presença da caixa de ar pode ser uma característica intencional do sistema da fachada ou pode ser resultante da combustão dos materiais presentes no sistema da fachada, ou ainda ser causada pela baixa integridade dos painéis de revestimento ou pelo mau desempenho dos sistemas de juntas e sistemas de vedação contra incêndio, ou até mesmo uma combinação destes fatores. À medida que as chamas se propagam dentro da caixa de ar localizada atrás do sistema da fachada, elas podem-se estender em até dez vezes o seu comprimento, em busca de oxigênio no espaço confinado da caixa de ar. Este fenómeno ainda pode passar despercebido pelo lado externo, ao ocorrer por detrás do revestimento [25, 76].

Como forma de solucionar esta problemática, vem-se aplicando a utilização de diferentes técnicas em fachadas pré-fabricadas para limitar a propagação das chamas, como é o caso da instalação de barreiras corta-fogo e barreiras de caixa de ar. No entanto, estas técnicas podem aumentar o risco de propagação quando são instaladas incorretamente. Tal efeito pode decorrer de falhas na instalação, por meio da precisão limitada das guias de elevação que pode levar a desalinhamentos entre os painéis, o que favorecem a disseminação do fogo ao longo do edifício [11, 79].

4.4.2 Ensaios em escala real e suas limitações em fachadas

No passado, a determinação dos requisitos para o isolamento da fachada externa em muitos países era baseada em classificações obtidas por meio de testes laboratoriais convencionais. No

entanto, experiências anteriores revelaram que, em certos casos, esses testes são limitados e não fornecem informações abrangentes o suficiente para caracterizar o desempenho integral dos materiais que compõem o sistema de fachadas em situações reais de incêndio [75].

Exemplos destes testes são o ensaio de ignitabilidade, também chamado de ensaio da pequena chama. Nele, um o material analisado é exposto a uma chama de 20 mm de comprimento por 30 segundos. O ensaio analisa o comportamento do material durante um período total de 60 segundos e neste período a altura da chama utilizada não pode ultrapassar os 150 mm. O ensaio SBI, por sua vez, é realizado numa câmara fechada onde amostras de grandes dimensões são expostas a uma chama de 30 kW. As medidas são feitas ao longo do tempo de ensaio, que pode levar até 20 minutos [75, 79].

Como consequência, foram desenvolvidos testes em escala real em diferentes países europeus. A maioria desses testes é projetada para replicar o cenário de um incêndio que se propaga através de uma janela. Onde os parâmetros avaliados normalmente incluem a observação visual da propagação das chamas, a medição da temperatura, a avaliação dos danos ocorridos tanto na parte externa quanto na interna do sistema de isolamento após o teste, bem como a análise da queda de gotas em chamas e a formação de fragmentos ou detritos resultantes do incêndio.

No entanto, a variação entre países acaba por levar à diferença nos ensaios e parâmetros analisados, que incluem o tipo de fonte de incêndio utilizada, o tamanho da fonte de incêndio adotado, a configuração da amostra durante o ensaio e a altura do equipamento de teste. Esta diferenciação pode resultar na incompatibilidade dos resultados de um país quando este material é aplicado em outro.

No Reino Unido, por exemplo, houve mudanças nos ensaios aplicados após o trágico incêndio da Torre Grenfell em 2017. Atualmente, na Inglaterra e País de Gales, para edifícios de grande altura com residências, instituições ou salas residenciais, só são permitidos produtos isolamento e revestimentos com classificação não combustível. Na Escócia, o limite de altura é de 11m e, embora sejam especificados materiais com classificação não combustível, o teste BS 8414 ainda é permitido para avaliar sistemas de fachada e identificar outras opções de instalação. Para edifícios com menos de 18m de altura na Inglaterra e País de Gales, e 11m na Escócia, é permitido o uso de isolamento combustível desde que o sistema atinja o desempenho exigido [76, 80].

Em 2017, a Comissão Europeia iniciou um projeto visando o desenvolvimento de uma abordagem europeia para avaliar o desempenho contra incêndio de fachadas. Esse projeto tinha como objetivo estabelecer diretrizes e classificações a serem adotadas nas Normas de Produtos Harmonizados (na CEN) e nos Documentos de Avaliação Europeus (na EOTA) para os produtos de construção relevantes no âmbito da implementação do Regulamento de Produtos de Construção 305/2011/EU.

O estudo identificou uma lacuna significativa de dados científicos relacionados às características-chave de desempenho, tais como a exposição ao calor dos materiais de teste nos diferentes métodos analisados, a realização dos testes em ambientes externos ou laboratorial, e reconheceu a existência de um *trade-off* entre a variedade de aplicações representadas por um

resultado de teste específico e o esforço necessário para atender a uma maior gama de cenários [22].

O relatório final do estudo, publicado em 2018, foi inconclusivo e o método escolhido posteriormente para o desenvolvimento do método europeu foi a proposição de um teste que utilizava as seguintes especificações na sua realização: a largura e altura da face principal e da asa seriam de 3,5 x 7 m para exposição média ao fogo e 1,5 x 7 m para exposição intensa ao fogo. No segundo caso, a altura do piso até a verga da câmara de combustão seria de 2 m, enquanto para a exposição média ao fogo seria de 1 m. Além disso, a estrutura completa precisaria ser elevada ou estendida em pelo menos 0,5 m, a fim de garantir que a radiação proveniente da câmara de combustão não afete o material que cai durante o teste [76, 80].

Em 2019 um estudo foi iniciado com objetivo de finalizar este método o de avaliação, desenvolver critérios de avaliação e classificações, e verificar a repetibilidade e reprodutibilidade dos resultados dos testes. A Comissão Europeia tem a possibilidade de introduzir este novo método para marcação CE por meio de um ato delegado.

Além disto, procura-se maneiras alternativas de se avaliar o comportamento de materiais das fachadas no seu processo de reação ao fogo. Outra forma de auxiliar a realização dos testes e na escolha de materiais a serem utilizados na construção de fachadas é a partir da gestão de informações por meio de processos padronizados. Neste processo, os fabricantes fornecem informações detalhadas sobre o comportamento ao fogo dos materiais, assim é possível ter uma melhor previsão do seu papel no desenvolvimento do incêndio [80].

Porém, este método depende da presença e da qualidade das informações pelo fabricante, que deve possuir características como precisão, atualidade, suficiência, compreensibilidade, relevância, usabilidade, veracidade e rastreabilidade das informações. Estas informações podem ser encontradas em banco de dados de materiais, como é o caso da biblioteca de objetos BIM, que compila informações fornecidas pelos fabricantes e modelos para utilização em projetos [80].

Estas informações podem favorecer a utilização de ferramentas digitais, como as simulações computacionais, que podem utilizar dados fornecidos para montar cenários semelhantes aos reais utilizando diferentes variáveis, como clima e vento, que são difíceis de se aplicar durante os ensaios.

No entanto, pesquisas recentes mostram que estas informações fornecidas são deficientes e têm impedido que as ferramentas digitais consigam gerar informações precisas sobre a segurança dos projetos de fachadas contra incêndios. Uma maior imposição por parte de normas e legislações poderia aumentar esta prática no setor da construção, que contribuiria para uma maior presença de dados em bibliotecas [76, 80].

5 ANÁLISE DO QUADRO LEGAL

5.1 REGULAMENTAÇÃO NACIONAL

5.1.1 Considerações iniciais

Portugal possui atualmente diplomas que visam estabelecer medidas de SCIE assim como de autoproteção e os procedimentos de segurança contra incêndio em edifícios, estabelecimentos e recintos. O primeiro deles, o Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de novembro, estabelece o Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE). Atualmente, este instrumento legal está na sua terceira alteração, na forma da Lei n.º 123/2019, de 18 de outubro [81].

Entre as determinações estabelecidas no RJ-SCIE está a aprovação de uma portaria que determina disposições técnicas gerais e específicas de SCIE referentes às condições exteriores comuns, às condições de comportamento ao fogo, isolamento e proteção, às condições de evacuação, às condições das instalações técnicas, às condições dos equipamentos e sistemas de segurança e às condições de autoproteção. Assim, foi aprovada a Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro, criando o Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (RT-SCIE) [82]. Este regulamento foi posteriormente alterado na forma da Portaria n.º 135/2020, de 2 de junho [83].

Uma análise foi realizada nestes documentos com objetivo de analisar e tecer comentários sobre os pontos relacionados com condições exteriores de ambos os documentos legais, mais precisamente os pontos sobre a reação ao fogo. Primeiramente, foi possível verificar que o Regime Jurídico contém determinações que estabelecem requisitos que devem ser aplicados para garantir a segurança nas fachadas, como é o caso do seu artigo 9º. Nele é estabelecido como deve-se proceder à caracterização dos materiais utilizados na sua construção. Estes materiais são avaliados observando parâmetros relacionados com seu comportamento durante um incêndio de acordo com a norma em vigor.

Estes elementos devem passar por testes que determinem qual a sua classe de reação e resistência ao fogo. Tal análise deve ser realizada para garantir que a fachada se enquadre dentro dos critérios estabelecidos no regulamento técnico. Para isto, são realizadas análises de diversos parâmetros como a perda de massa, taxa de propagação do fogo e fluxo crítico.

Já o RTSCIE possui uma secção específica para determinar as condições que devem ser aplicadas no ambiente exterior do edifício. Nela é estabelecida como deve ser o acesso para veículos de socorro em caso de incêndio e destaca a importância de estabelecer requisitos para evitar a propagação do fogo pelo exterior dos edifícios. Além disso, ressalta a importância da disponibilidade de água para abastecimento dos veículos de socorro e da localização estratégica de novos edifícios e recintos em relação aos quartéis de bombeiros e equipamentos de combate a incêndios.

5.1.2 Reação ao fogo

No artigo 7º desta secção são definidas as especificações para limitar à propagação do incêndio pelo exterior para fachadas tradicionais. Enquanto o seu artigo 8º introduz a informação de que os itens 3 a 8 do artigo anterior também são aplicáveis em paredes exteriores não tradicionais e posteriormente apresenta outras condições específicas. Da forma em que é descrita os sistemas que possuem caixa de ar, como é o caso das fachadas ventiladas, e fachadas do tipo ETICS são considerados como modelo tradicionais, já que as suas especificações estão descritas nos itens 11 e 12. No entanto, estes sistemas são usualmente considerados como modelos não tradicionais, visto que são oriundos das diversas mudanças que as fachadas sofreram e dos avanços tecnológicos dos materiais.

Esta interpretação favorece estes sistemas de construção, pois fachadas consideradas não tradicionais possuem critérios mais restritivos para construção no RTSCIE, como pode ser lido no ponto 13 do artigo 7º.

13 — Os sistemas de revestimentos exteriores não tradicionais devem, salvo em casos devidamente justificados, ser objeto de especificações técnicas de projeto, exigidas pela ANEPC, eventualmente apoiadas por documentos técnicos de aplicação emitidos pelo LNEC, ou por entidade reconhecida pela ANEPC.

No entanto, as fachadas ventiladas e de ETICS possuem comportamento ao fogo diferente do que é apresentado em uma fachada tradicional. Assim, as condições estabelecidas para as fachadas tradicionais, que geralmente apresentam materiais não combustíveis, presente no referido artigo podem não ser adequadas para as demais soluções analisadas. Pois tanto a fachada ventilada, quanto a de ETICS apresentam em sua composição materiais que favorecem a propagação das chamas.

De forma geral, o item 9 do artigo 7º estabelece os critérios a serem seguidos para garantir a limitação da propagação das chamas em paredes exteriores. Entre estes estão as classes de reação ao fogo em fachadas de diferentes alturas. Estas recomendações podem ser encaradas como generalização, onde são contempladas principalmente fachadas tradicionais.

Para os edifícios com múltiplos pisos, é importante garantir que os revestimentos exteriores, os elementos transparentes das janelas, portas e outros vãos, bem como a caixilharia e estores ou persianas exteriores, atendam aos requisitos de reação ao fogo adequados à altura do edifício. Para isso, a legislação estabelece no ponto 9 do referido artigo as orientações que devem ser seguidas para limitar a propagação do fogo nestes elementos, Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Quadro III do RT-SCIE: reação ao fogo de revestimentos elementos exteriores

Altura «H»	Fachadas sem aberturas	Fachadas com aberturas	
	Revestimentos	Revestimentos e elementos transparentes	Caixilharia e estores ou persianas
$H \leq 28$ m	D-s3, d1	C-s2, d0	D-s3, d0
$H > 28$ m	C-s3, d1	B-s2, d0	C-s3, d0

Em uma análise da Tabela 5.1 é importante destacar a classificação necessária para os caixilhos, estores ou persianas exteriores, ao utilizar materiais que possuem uma contribuem na propagação do fogo, estes elementos podem facilitar a propagação das chamas de um piso para o outro. Este caso pode ser agravado em sistemas que possuem caixa de ar ventilada, pois como citado anteriormente a altura das chamas é acrescida nestes casos devido ao efeito chaminé, comprometendo ainda mais a compartimentação entre os recintos.

Como forma de mitigar os riscos causados sistema de fachadas ventiladas o RTSCIE traz um quadro onde são apresentados de elementos específicos para este tipo de sistema. Assim, a Tabela 5.2 apresenta as classes de reação ao fogo estabelecidas para sistemas que utilizam revestimento exterior de forma a criar caixa-de-ar.

Tabela 5.2 – Quadro IV do RT-SCIE: reação ao fogo de elementos de revestimento exterior criando caixa-de-ar

Elemento	Edifícios de pequena altura	Edifícios de média altura	Edifícios de altura superior a 28 m
Estrutura de suporte de isolamento	C-s2, d0	B-s2, d0	A2-s2-, d0
Revestimento da superfície externa e das que confinam o espaço de ar ventilado	Cs2, d0	B-s2, d0	A2-s2-, d0
Isolante térmico	D-s3, d0	B-s2, d0	A2-s2-, d0

Ao analisarmos a tabela anterior é possível verificar que é limitado a edifícios que possuem altura superior a 28 m a utilização materiais com contribuição quase nula na propagação das chamas. Já em edifícios de média e pequena altura são permitidos materiais com um maior grau de combustibilidade.

Como vimos anteriormente, a grande maioria os incêndios que se propagam pelas fachadas são devido à presença de materiais combustíveis que são utilizados como revestimento e isolantes térmicos. A flexibilização para utilizar materiais de classe mais baixa pode ser justificada devido à menor estatura do edifício, que facilita o processo de evacuação e possibilitar uma resposta mais rápida dos bombeiros. No entanto, o histórico de incêndio nestes sistemas mostra que a propagação se dá de maneira rápida e com alto grau de destruição, tornando estas classes de reação mesmo em edifícios com altura inferior a 28 m um risco.

Além disso, é necessário realizar testes em escala real que atestem que o conjunto de materiais utilizados não apresentam riscos quando combinados. A alteração de comportamento pode ocorrer devido a mudanças na estrutura durante o desenvolvimento do incêndio. A degradação dos compostos ocorre principalmente devido à liberação de calor proveniente da combustão do isolamento, o que altera a composição dos materiais e sua estrutura.

Embora, em um primeiro momento, o isolamento esteja protegido do efeito direto das chamas durante o incêndio, em determinado momento, o revestimento é consumido e o isolamento fica exposto às chamas. A partir desse momento, os critérios do ensaio de classificação do revestimento deixam de ser aplicáveis e o sistema terá como comportamento a classificação do isolamento.

Assim, a legislação estabelece critérios para classificar o sistema de fachadas ventiladas considerando não apenas o comportamento ao fogo de seus componentes em separado. Esta classificação é realizada de forma similar ao que veremos a seguir, já que as fachadas de ETICS são avaliadas e possuem uma classificação do seu sistema completo.

Tabela 5.3 – Quadro V do RT-SCIE: Reação ao fogo dos sistemas com revestimento sobre isolante «ETICS»

Elemento	Edifícios de pequena altura	Edifícios de média altura	Edifícios de altura superior a 28 m
Sistema Completo	C-s3, d0	B-s3, d0	B-s2, d0
Isolante térmico	E	E	B-s2, d0

O Quadro V do RTSCIE apresenta a classe de reação ao fogo para os elementos que compõe as fachadas do tipo ETICS. Sendo incluídos os componentes do sistema compósito térmico exterior utilizado como revestimento e os produtos de isolamento térmico.

De maneira semelhante ao quadro referente às fachadas ventiladas, este sistema possibilita a utilização de materiais que apresentam combustibilidade limitada. Como vimos no capítulo 3 as fachadas de ETICS apresentam o material isolante voltado para a face exterior, possuindo apenas uma fina camada de revestimento em sua superfície. Deste modo, os riscos associados a propagação das chamas se assemelha ao relatados no sistema de fachadas ventiladas, com exceção do agravante relacionado ao efeito chaminé.

Este tipo de fachada necessita de uma atenção especial, pois como vimos anteriormente, o histórico demonstra que as chances de incêndio associados as fachadas de ETICS são maiores. Nestas fachadas, a camada de revestimento pode ser facilmente rompida, devido aos desgastes provenientes da radiação constante, o que permite que as chamas atinjam diretamente o núcleo de material isolante [13].

Este comportamento também pode afetar a produção de gotículas provenientes da queima do isolante termoplástico. Para edifícios de altura superior a 28 m este fator não promove preocupação, visto que os materiais permitidos devem possuir classificação d0. No entanto, em edifícios de média e pequena altura são permitidos isolantes que não possuem esta classificação.

Assim, quando o revestimento é completamente consumido existe a possibilidade de queda de gotas inflamáveis.

Como forma de solucionar esta problemática, a legislação pode prever a instalação de mecanismos que retardem a propagação das chamas e que evitem a queda destas gotículas, como é o caso de barreirais contruídas em material não combustível.

Visando auxiliar na avaliação destes materiais a Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC) tem em seu planeamento a elaboração da Nota Técnica de nº 28 que irá estabelecer parâmetros para o comportamento ao fogo em produtos de construção.

Nos próximos itens, é apresentado o texto do quadro legal em vigor que estabelece outras medidas de prevenção a serem implementadas e sua análise em relação aos sistemas de fachadas apresentados.

5.1.3 Acessibilidade das fachadas

A Portaria nº 135/2020 estabelece no seu artigo 6º os critérios a serem utilizados para garantir a acessibilidade às fachadas do edifício, onde pode-se ler:

1 — As vias e as faixas referidas nos artigos 4.º e 5.º, para além de permitirem o acesso ao edifício através das saídas de evacuação, servem também para facilitar o acesso às fachadas e a entrada direta dos bombeiros, em todos os níveis que os seus meios manuais ou mecânicos atinjam, através dos pontos de penetração existentes.

2 — Os pontos de penetração podem ser constituídos por vãos de portas ou janelas, eventualmente ligados a terraços, varandas, sacadas ou galerias, desde que permitam o acesso a todos os pisos, situados a uma altura não superior a 50 m, à razão mínima de um ponto de penetração por cada 800 m² de área do piso, ou fração, que servem e possuam abertura fácil a partir do exterior ou sejam facilmente destrutíveis pelos bombeiros.

3 — Nos edifícios com altura igual ou inferior a 9 m, quando os pontos de penetração forem constituídos por vãos de janela, o pano de peito não deve ter espessura superior a 0,3 m numa extensão de 0,5 m abaixo do peitoril, de forma a permitir o engate das escadas manuais de ganchos.

Em diversos casos relatados no capítulo 2 foi apresentada a dificuldade de acesso ao interior do edifício através do ponto de penetração nas fachadas. Esta situação se deu devido à combustibilidade dos produtos empregados nas fachadas, que fazem com que as chamas se propaguem por toda sua extensão e acabam por bloquear os locais de entrada, o que impossibilita que a equipa de bombeiros tenha acesso ao interior do edifício.

Além disto, estes materiais também produzem grande quantidade de fumos, o que pode gerar dificuldade para visualizar a localização dos pontos de acesso ou a sinalização presente na estrutura. Ao possibilitar a utilização de materiais que possuem classificação de produção de

fumos s2 e s3 em edifícios de média e grande altura o RT-SCIE abre margem para que situações como a exemplificadas possam ocorrer.

Os cenários apresentados podem ser evitados com a utilização de materiais não combustíveis ao redor dos pontos de penetração, o que diminuiria as chances de bloqueio da passagem pelas chamas, em conjunto com materiais que possuem classe de produção de fumo s1.

5.1.4 Propagação do incêndio pelo exterior

5.1.4.1 Propagação vertical

As condições à serem adotadas para limitar a propagação das chamas entre pisos é estabelecido nos itens 1 e 2 do artigo 7º do RT-SCIE, onde pode ser lido que:

1 — Os troços de elementos de fachada de construção tradicional, compreendidos entre vãos situados em pisos sucessivos da mesma prumada, pertencentes a compartimentos corta -fogo distintos, devem ter uma altura igual ou superior a 1,1 m.

2 — Se entre esses vãos sobrepostos existirem elementos salientes, nomeadamente palas, galerias corridas, varandas ou bacias de sacada, prolongados mais de 1 m para cada um dos lados desses vãos, ou que sejam delimitados lateralmente por elementos de construção, o valor de 1,1 m corresponde à distância entre vãos sobrepostos, somada com a do balanço desses elementos, desde que estes garantam a classe de resistência ao fogo padrão EI 60.

Estas especificações são atribuídas para fachadas exteriores tradicionais, que geralmente são construídas com materiais com baixa combustibilidade. A falha na compartimentação nestes sistemas devido a um incêndio no exterior ocorre quando o fogo consegue entrar nos compartimentos a partir da quebra dos elementos presentes nos vãos, podendo ser portas ou janelas.

Assim, estes elementos citados no ponto 2 da legislação servem como uma barreira física, que tem como objetivo reduzir o dano causado pelas chamas a propagação do fogo para outros pisos.

No entanto, em fachadas ventiladas e de ETICS a propagação das chamas é agravado devido aos materiais utilizados na sua composição. Tendo como principal causa a combustão do sistema de revestimento e isolamento térmico.

Como vimos no Quadro III a legislação permite que sejam utilizados nas fachadas elementos com classe de reação C e D em edifícios de média e grande altura. A utilização de materiais combustíveis em conjunto com a configuração das fachadas estudadas, especialmente a fachada ventilada, facilita a propagação das chamas mesmo com a presença de barreiras. Com estes materiais presentes é possível garantir um caminho a ser seguido pelas chamas, que podem contornar facilmente os obstáculos construtivos e violar a compartimentação entre os pisos.

5.1.4.2 Propagação horizontal

No mesmo artigo 7º os pontos 3 a 7 tratam da propagação vertical entre edifícios ou compartimentos distintos, sendo estabelecidos os critérios a serem adotados para evitar a propagação horizontal entre fachadas.

3 — Nas zonas das fachadas em que existam diedros de abertura inferior a 135°, deve ser estabelecida de cada lado da aresta do diedro uma faixa vertical, garantindo a classe de resistência ao fogo padrão indicada a seguir, de acordo com a altura do edifício:

a) Altura não superior a 28 m — EI 30;

b) Altura superior a 28 m — EI 60.

4 — A largura das faixas referidas no número anterior não deve ser inferior à indicada a seguir, em função do ângulo de abertura do diedro:

a) Ângulo de abertura não superior a 100° — 1,5 m;

b) Ângulo de abertura superior a 100° e não superior a 135° — 1 m

6 — No caso de diedros entre corpos do edifício com alturas diferentes, a faixa estabelecida no corpo mais elevado deve ser prolongada por toda a sua altura, com um máximo exigível de 8 m acima da cobertura do corpo mais baixo.

7 — O disposto nos n.ºs 3 a 6 não se aplica nas zonas de fachadas avançadas ou recuadas, no mínimo de 1 m, do seu plano geral, nem nas zonas das fachadas pertencentes ao mesmo compartimento corta -fogo.

As imposições presentes nos itens 1 a 6 têm como objetivo garantir a estabilidade e isolamento entre os compartimentos corta-fogo no mesmo plano. Estas características possibilitam garantir a integridade das estruturas e de seus materiais. Trata-se de uma tentativa de reduzir que o incêndio não se propague para fachadas do mesmo edifício.

No entanto, o RT-SCIE não apresenta especificações acerca da compatibilidade das classes de reação ao fogo entre edifício adjacentes. Em um cenário de incêndio, estes fatores podem ser cruciais para reduzir a propagação exterior horizontal das chamas.

Continuando a análise do artigo 7º, o seu item 7 trata dos casos em que a fachada adjacente esteja em um plano avançado ou recuado de até 1 metro em relação ao seu plano geral. Esta limitação do comprimento máximo em fachadas visa prevenir a propagação de incêndios do interior para o exterior através da envolvente. Esta medida é considerada suficiente, dado que a probabilidade de propagação em uma faixa de até 1 metro é baixa.

Embora diversas prescrições do RS-CIE visam a proteção de fachadas tradicionais e em edifícios de grande e muito grande altura com fachadas ventiladas, deve-se ter em conta que, em edifícios de pequena e média altura, os produtos utilizados na fachada podem ser combustíveis, e a propagação lateral já foi demonstrada em incêndios reais. Portanto, para edifícios com estas classes de altura, a propagação entre eles não pode ser totalmente prevenida pelas regras do regulamento.

5.1.5 Edifícios em confronto

Outro risco presente durante um incêndio que atinge a face exterior do edifício é a passagem das chamas para edifícios ao seu entorno, seja pela altura das chamas geradas, pelo desprendimento de matérias particulados ou emissão de radiação gerada com queima de materiais. O item 8 do artigo 7º do RT-SCIE estabelece prescrições que visam garantir a segurança dos edifícios em confronto. O desempenho ao fogo dos elementos de guarnecem os vãos, pode variar em função da distância entre os edifícios confrontantes e das suas classes de estabilidade ao fogo.

8 — As paredes exteriores em confronto de edifícios distintos, ou as paredes exteriores em confronto de compartimentos corta-fogo distintos no mesmo edifício, devem:

- a) Garantir, no mínimo, a classe de resistência ao fogo padrão EI 60 ou REI 60 e os vãos nelas praticados devem ser guarnecidos por elementos fixos E 30 ou de fecho automático E 30 C, sempre que a distância entre os edifícios, com exceção dos afetos à utilização-tipo XII, for inferior à indicada no quadro II abaixo:

QUADRO II

Condições de proteção de vãos de fachadas em confronto

Altura do edifício «H»	Distância entre as fachadas «L»
H ≤ 9 m	L = 4 m
H > 9 m	L = 8 m

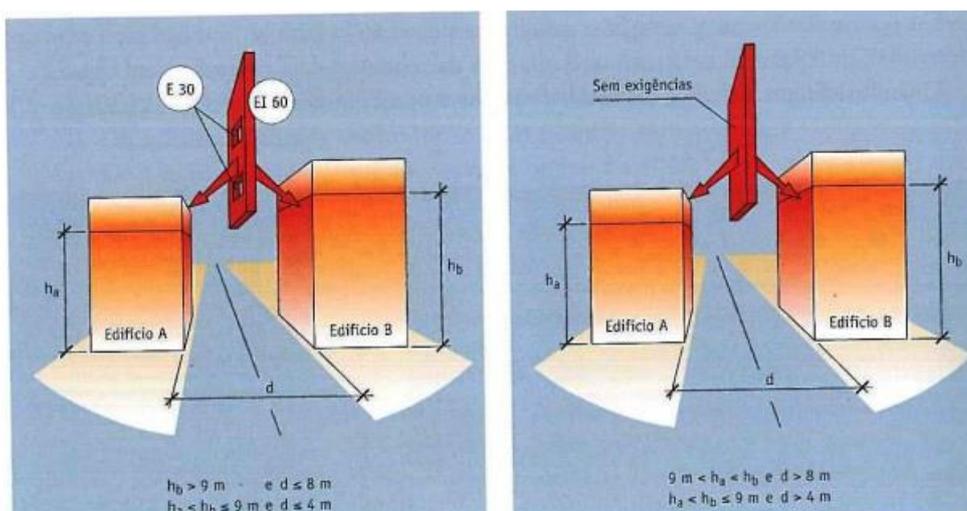


Figura 5.1 - Medidas propostas para limitar a propagação de incêndio entre edifícios [84]

As imposições presentes neste item são aplicadas em fachadas tradicionais e não tradicionais. Nas fachadas tradicionais os critérios das classes de resistência, estabilidade e isolamento são

coerentes, visto que os incêndios devem ficar confinados no seu compartimento de origem. Já para as fachadas não tradicionais, que geralmente possuem elementos combustíveis em sua composição, estas distâncias podem ser consideradas insuficientes. Os revestimentos e isolamento dos edifícios em confronto podem sofrer com a radiação liberada durante a queima dos materiais. Este fator é agravado em edifícios de pequena altura, onde são permitidos materiais com maior combustibilidade, como as classes de reação D e E.

Além disto, o Quadro II do artigo 7º, paragrafo 8 não estabelece diferenciação entre os edifícios de grande e média altura. Como são permitidos materiais com diferentes classes reação ao fogo entre eles, deveria ser previsto uma variação entre as distâncias destes casos para se estabelecer uma melhor segurança para edifícios com características de fachadas não tradicionais.

5.1.6 Condições específicas para utilização-tipo XII

Para edifícios que possuem área destinada para utilização-tipo XII que não possuem comunicação interiores comuns com outras UTs devem ser aplicadas condições específicas em pelo menos um dos edifícios. Estas condições são apresentadas no capítulo X do RT-SCIE, onde descreve as condições específicas para indústrias, oficinas e armazéns. No seu artigo 300º são descritas as especificações que tratam das limitações à propagação de incêndio pelo exterior.

1 — As paredes exteriores de edifícios que possuam espaços afetos à utilização-tipo XII devem garantir, no mínimo, a classe de resistência ao fogo padrão EI 60 ou REI 60 e os vãos nelas pratica dos ser guarnecidos por elementos fixos E 30, ou de fecho automático E 30 C quando confrontem com outros edifícios a uma distância inferior à indicada no quadro XLIX abaixo:

QUADRO XLIX

Distâncias mínimas entre edifícios

<i>Categoria de risco da utilização -tipo XII</i>	<i>Maior das alturas dos edifícios «H»</i>	<i>Distância «L»</i>
<i>1.^a</i>	<i>$H \leq 9\text{ m}$</i>	<i>$L = 4\text{ m}$</i>
	<i>$H > 9\text{ m}$</i>	<i>$L = 8\text{ m}$</i>
<i>2.^a</i>	<i>$H \leq 9\text{ m}$</i>	<i>$L = 8\text{ m}$</i>
	<i>$H > 9\text{ m}$</i>	<i>$L = 12\text{ m}$</i>
<i>3.^a e 4.^a</i>	<i>Qualquer</i>	<i>$L = 16\text{ m}$</i>

2 — Sempre que as distâncias previstas no número anterior para as 2.^a, 3.^a ou 4.^a categorias de risco sejam inferiores a metade das referidas no quadro XLIX, os valores da resistência ao fogo padrão das paredes exteriores devem passar a EI 90 ou REI 90 e os vãos nelas praticados devem ser protegidos por elementos E 45 ou de fecho automático E 45 C.

3 — *No caso de equipamentos de produção ou de armazenamento situados ao ar livre em recintos afetos à utilização-tipo XII, os limites de distância a edifícios, previstos nos n.ºs 1 e 2, devem ser aumentados 4 m.*

4 — *A existência de vãos em paredes exteriores sobranceiros a coberturas afetas à utilização-tipo XII de outros edifícios, ou de outros corpos do mesmo edifício, só é permitida se os materiais de revestimento dessa cobertura garantirem a classe de reação ao fogo A1 numa faixa com a largura de 8 m medida a partir da parede.*

5 — *No caso de existirem elementos envidraçados na cobertura a que se refere o número anterior, situados na referida faixa de 8 m, os mesmos devem ser fixos, garantir uma classe de resistência ao fogo padrão E 60 ou superior e estar distanciados 4 m da fachada sobranceira.*

Estas UTs possuem critérios de segurança específicos devido aos riscos associados às atividades desenvolvidas. Assim, sempre que possível, estas UTs devem ocupar um edifício ou recinto independente, sujeitos às condições de limitação da propagação de incêndios pelo exterior. Quando em conjunto com outra UT, as condições de segurança devem sempre ser as que garantem um maior critério de proteção ao recinto.

Com relação ao isolamento e proteção dos locais de UT XII são estabelecidas as condições seguintes prescritas no artigo 303º:

1 — Em oficinas ou espaços oficinais, as zonas destinadas a pintura ou aplicação de vernizes, para além do especificado neste regulamento, devem ainda:

a) Quando implantadas em espaço fechado, possuir duas portas de acesso ao exterior, abrindo nesse sentido, tão afastadas quanto possível e, quando a oficina estiver em laboração, as portas devem estar libertas de fechos, ferrolhos ou qualquer outro dispositivo de travamento;

b) Quando implantadas em espaço interior não isolável nas condições da alínea anterior, as zonas devem ser delimitadas por uma envolvente constituída por telas ou resguardos da classe de resistência ao fogo padrão EI 60 ou superior, batidas por um sistema de cortina de água dimensionado de acordo com o estabelecido neste regulamento.

O artigo continua com especificações a serem aplicadas em locais com presença de líquidos combustíveis, estabelecendo a classe de resistência e reação ao fogo, quantidade máxima de materiais armazenados e como devem ser armazenados. Para determinar as condições o regulamento leva em consideração as características que geram riscos no ambiente, como o ponto de inflamação, o tipo de material armazenado e a forma de armazenamento.

Como visto nos itens apresentados, as condições de segurança específicas que os recintos enquadrados na utilização-tipo XII devem atender são mais restritas. As condições impostas incluem a utilização de materiais não combustível de classe A1 de reação ao fogo. As condições de afastamento entre edifícios também demonstram esta preocupação, pois estas UTs devem garantir um distanciamento dos edifícios ao entorno com base na classificação da categoria de risco na qual está inserida.

5.2 ANÁLISE DOS DISPOSITIVOS LEGAIS E REGULAMENTAÇÕES INTERNACIONAIS

5.2.1 Introdução

Quando ocorre um incêndio em um edifício de grande altura várias questões se formam para tentar entender o que possibilitou que as chamas conseguissem se propagar de tal maneira a causar aquele cenário. Devido a recorrência cada vez mais frequente deste tipo de incidente, esta problemática vem ganhando destaque, em especial quando uma de suas consequências é a morte dos que ali habitavam ou utilizavam o edifício.

Estes casos mostram o problema generalizado que é a utilização de revestimento combustíveis em edifícios e também levam ao questionamento de como que este cenário é possível dentro das normas impostas por cada país, que deveriam ter como prioridade estabelecer imposições que salvaguardem a vida das pessoas durante situações de incêndio.

Estas tragédias destacam a necessidade de se implementar regulamentações mais rigorosas e medidas de segurança eficazes para prevenir e lidar com incêndios em estruturas altas. As legislações, em muitos dos casos relatados no capítulo 2, falharam ao não evitar a utilização de materiais que são conhecidos por aumentar os riscos de incêndios em fachadas.

Para entender melhor qual o atual cenário de prevenção de incêndio em edifícios foi realizado um levantamento dos dispositivos legais e regulamentações em um âmbito internacional, com foco nos países com incêndios destacados no Capítulo 2, observando suas características gerais e o que se refere as medidas utilizadas para limitar a propagação do fogo em fachadas.

5.2.2 Inglaterra

Atualmente a legislação inglesa possui características que a tornam uma das mais completas do mundo, muito deste avanço é devido aos impactos que foram sentidos após o incêndio na Torre Grenfell. A tragédia levou as autoridades responsáveis a implementar uma série de reformulações na legislação contra incêndio em edifícios, com objetivo de tornar mais restritivo o uso dos materiais de construção e estabelecer estruturas mais seguras.

Desde 2017 a segurança contra incêndios tem sido uma prioridade no governo e na indústria da construção do Reino Unido. O Ministério da Habitação, Comunidades e Governo Local (MHCLG) tomou medidas para identificar e abordar riscos latentes em edifícios existentes. O MHCLG também encomendou uma Revisão Independente dos Regulamentos de Construção e Segurança contra Incêndios, liderada por Dame Judith Hackitt, para identificar quais mudanças regulatórias podem ser necessárias na indústria da construção.

Entre algumas das medidas tomadas em Inglaterra, estão a criação de um cadastro geral dos edifícios residenciais com mais de 18 metros de altura que possuem revestimento externo combustível de alumínio e polietileno. Foram identificados cerca de 487 edifícios nessas condições, que são agora obrigados a realizar análise de risco, buscando principalmente afastar fontes de ignição, tais como áreas de estacionamento, equipamentos elétricos ou trabalhos de manutenção, das proximidades do revestimento combustível.

Visando remediar esta problemática que vem sendo observada o governo inglês estabeleceu um programa com objetivo de remover e substituir revestimentos de MCA destes edifícios. Atualmente, dos 487 edifícios identificados no levantamento, 441 já removeram completamente o revestimento e 37 já começaram o processo de remediação [8]. Esta medida gerou um grande impacto na economia do país, já que para realizar estas mudanças o governo alocou 1.6 bilhão de libras esterlinas [80].

Diversos outros esforços vêm sendo feitos para reverter esta realidade, após Grenfell algumas mudanças ocorreram na legislação inglesa. Atualmente os materiais que compõem a estrutura de uma fachada devem ter desempenho que atendam ao estabelecido na página 180 do regulamento de Segurança Contra Incêndios: Documento B aprovado, que define que o melhor desempenho de uma fachada só é alcançado quando são utilizados produtos não combustíveis, ou quando se aplicam matérias que atendam ao cumprimento de certos critérios baseados em resultados de testes em grande escala [9].

Assim, o governo inglês optou por proibir o uso de materiais combustíveis na construção de novos edifícios residenciais. A proibição envolve não somente os revestimentos de fachada, mas também os elementos estruturais, passando a ser permitidos somente produtos classificados com critério de combustibilidade A2 ou inferior de acordo com a norma EN 13501 [85].

O resultado dos esforços gerador após Grenfell resultaram em tentativas de melhoria para o atual quadro normativo do país, tendo como destaque a republicação da norma BS8414-1 em 2020 [86], trazendo melhorias no quesito de segurança em revestimento exteriores, e a publicação da normativa BS 9414 [87]. Esta última vem para complementar o atual quadro legal e desempenha um papel fundamental na promoção da segurança contra incêndios na indústria da construção, fornecendo critérios objetivos e procedimentos padronizados para a avaliação e certificação de sistemas de revestimento externo de fachadas. A sua aplicação adequada contribui para a mitigação dos riscos de propagação do fogo em edifícios, proporcionando maior proteção para a vida humana e os bens materiais.

Mais especificamente, a BS 8414, intitulada "Métodos de Teste para Sistemas de Revestimento Externo de Fachadas - Parte 1: Método de Teste para Sistemas de Revestimento de Fachadas Completos" e "Parte 2: Método de Teste para Sistemas de Revestimento Externo de Fachadas Parciais", estabelece os procedimentos para a realização de testes em sistemas de revestimento de fachadas completos ou parciais, incluindo revestimentos não aderidos, sistemas de fachadas ventiladas, paredes-cortina, painéis de vidro, entre outros. Esses testes envolvem a exposição dos sistemas de revestimento a uma fonte de calor controlada, simulando uma situação de incêndio, e

a avaliação do seu desempenho com base em critérios como propagação do fogo, emissão de fumaça, formação de gotas ou partículas incandescentes e integridade estrutural.

Por sua vez, a BS 9414, intitulada "Método de Avaliação de Sistemas de Revestimento Externo de Fachadas de Edifícios - Guia", fornece diretrizes para a avaliação de sistemas de revestimento externo de fachadas em termos de desempenho em situações de incêndio. Esta norma abrange aspetos como a seleção adequada de materiais e componentes, o projeto de detalhes construtivos, considerações de segurança contra incêndios e requisitos de desempenho.

Atualmente um dos testes mais utilizados para a verificação da segurança de fachadas é o descrito na BS 8414 e uma derivação deste método vem sendo avaliada pela Comissão Europeia como o teste adotado na Regulamentação dos Produtos de Construção [9, 10]. No entanto, como foi relatado anteriormente, análises críticas apontam que pelo facto de se tratar de um ensaio com método empírico, os resultados só seriam representativos no cenário teste [10].

5.2.3 Emirados Árabes Unidos

Nos Emirados Árabes Unidos, a legislação de incêndio é regida pelo *UAE Fire and Life Safety Code*, que tem sua última versão em 2018 [88]. Esse código é elaborado pelo Conselho Nacional de Segurança (*National Fire and Life Safety Department*) do Ministério do Interior dos Emirados Árabes Unidos. O *UAE Fire and Life Safety Code* estabelece requisitos abrangentes para a prevenção de incêndios, proteção contra incêndios e segurança relacionada à vida em edifícios e instalações.

A legislação tem como objetivo prescrever as orientações mínimas para design, construção, renovação e instalação de edifícios, estruturas, ocupações, que devem aplicar sistemas de prevenção, deteção e proteção de incêndio. Além disto, as entidades e responsáveis pelo edifício devem seguir os requisitos mínimos estabelecidos nas normas e legislação.

O *UAE Fire and Life Safety Code* especifica requisitos para a instalação, inspeção e manutenção de sistemas e equipamentos de proteção contra incêndio. Isso inclui extintores de incêndio, hidrantes, sistemas de sprinklers, sistemas de alarme de incêndio, sistemas de ventilação e exaustão de fumaça, entre outros.

O código também aborda medidas de segurança relacionadas à vida, com o objetivo de garantir a evacuação segura de edifícios em caso de incêndio. Isso envolve a adequação do dimensionamento das rotas de fuga, sinalização de emergência, treinamento de pessoal, sistemas de controle de fumaça e outros dispositivos e procedimentos relevantes.

Além disto, o código aborda diversos aspetos da segurança contra incêndios, incluindo aspetos relacionados ao projeto e construção de edifícios. Ele estabelece diretrizes para a resistência ao fogo, compartimentação, sistemas de deteção e alarme de incêndio, sistemas de supressão de incêndio, rotas de fuga, iluminação de emergência e outros elementos relacionados.

A fim de abordar as causas da propagação das chamas na fachada, estas devem ser aprovadas pela Proteção Civil dos Emirados Árabes Unidos, que implementou medidas como o teste do painel e núcleo do revestimento, a utilização de barreiras contra incêndio nas caixas de ar, estabelece a necessidade interrupção de fogo vertical e a instalação de sprinklers internos nas fachadas.

Além disto, a utilização de consultores para validação das fachadas deve contar com especialistas em fachadas ou empresa de consultoria aprovada pela Proteção Civil. O empreiteiro e o fabricante da fachada devem ser aprovados pela Proteção Civil, possuindo uma licença válida emitida por ela. Por fim, a instalação da fachada deve ser inspecionada durante todo o processo de instalação e certificada pelo consultor ou por uma empresa de consultoria aprovada pela Proteção Civil.

A legislação também estabelece que os testes dos materiais utilizados nas fachadas devem ser realizados no produto individual ou no componente como parte da montagem, para que seja possível avaliar as características de propagação das chamas, gotículas e emissão de fumo do núcleo, revestimento, adesivos, painéis e outros produtos. No entanto, as fachadas se comportam como um sistema complexo, onde um material pode alterar o comportamento das chamas dos demais elementos das fachadas e este tipo de teste pode não ser o mais adequado.

É importante observar que o *UAE Fire and Life Safety Code* é complementado por regulamentações específicas que se aplicam a setores particulares, como edifícios residenciais, hospitais, hotéis, shoppings, indústrias e assim por diante.

5.2.4 Austrália

A preocupação com a magnitude de incêndios recentes fez com que o governo australiano formasse uma equipa de trabalho especial realizada em 2019 no estado de Victoria com objetivo de identificar a utilização de materiais combustíveis em fachadas. Dos 2227 edifícios analisados, 1069 foram identificados como tendo revestimentos combustíveis, o que aumentou a preocupação com os padrões de conformidade de segurança contra incêndio no país.

Na Austrália, o regulamento contra incêndio é contemplado no Código de Construção da Austrália (BCA, do inglês *Building Code of Australia*) dividido em três volumes, que fornece requisitos de segurança contra incêndio para edifícios e estruturas [89]. Além disto, cada estado e território possui órgãos reguladores específicos responsáveis pela aplicação das regulamentações de incêndio.

O BCA é um conjunto uniforme de disposições técnicas utilizado para os projetos e construções de edifícios e outras estruturas. Sendo adotado e aplicado em todas as obras de construção e em todas as jurisdições. O BCA contém diretrizes e normas para o projeto, construção e ocupação de edifícios, incluindo requisitos relacionados à resistência ao fogo, compartimentação, sistemas de

alarme e detecção de incêndio, saídas de emergência, sistemas de supressão de incêndio, entre outros aspetos.

No entanto, o BCA não possui uma proibição total do uso de revestimentos combustíveis em edifícios de grande altura e seu uso é restrito quando considerado perigoso. De acordo com o regulamento, revestimentos combustíveis só podem ser utilizados em conjunto com paredes externas não combustíveis que inibam a propagação do fogo através da superfície externa de um edifício. Nas palavras adotadas no Código de Construção da Austrália, um edifício deve possuir elementos em um grau necessário para evitar a propagação do fogo num edifício. A delimitação deste grau leva em consideração aspetos como a função e uso do edifício, o risco de incêndio e o número de andares.

Para serem aplicados os revestimentos devem estar em conformidade com os Padrões Australianos (AS, do inglês *Australian Standards*) que regem o uso de materiais de construção combustíveis. O Padrão AS 1530.1-1994 [90] é o método de ensaio que avalia a reação ao fogo dos materiais e estabelece o teste padrão de não combustibilidade de acordo com o BCA. Este teste envolve a medição da resposta do material num forno mantido constantemente a uma temperatura de 750°C. Já o Padrão AS/NZS 1530.3:1999 [91] é o método que avalia simultaneamente a ignição, propagação das chamas e liberação de calor e fumo de um material, sendo possível avaliar o desempenho de um material e sua interação dentro de um sistema.

5.2.5 França

Na França, as regulamentações de incêndio são estabelecidas pelo *Code de la Construction et de l'Habitation* (CCH) [92] e pelo *Code de la Sécurité Intérieure* (CSI) [93]. Esses códigos estabelecem requisitos para a segurança contra incêndios em edifícios e locais de trabalho, incluindo medidas de prevenção, proteção, evacuação, compartimentação de incêndio, entre outros.

O CCH é o principal código francês que regula a construção, a habitação e as normas técnicas relacionadas. Ele estabelece as regras e regulamentos para a conceção, construção, manutenção e segurança de edifícios na França. O CCH abrange uma ampla gama de áreas, incluindo requisitos de construção, normas técnicas, acessibilidade, eficiência energética, prevenção de incêndios, segurança estrutural e habitabilidade.

No contexto da segurança contra incêndios, o CCH estabelece requisitos específicos para prevenção e proteção contra incêndios, como a resistência ao fogo de materiais de construção, instalação de sistemas de detecção e alarme de incêndio, sinalização de emergência, sistemas de combate a incêndios, rotas de fuga e evacuação de ocupantes. O CCH também aborda questões de compartimentação de incêndio, isolamento acústico e qualidade do ar interno em edifícios.

A reação ao fogo dos materiais de construção na França de acordo com a NF EN 13501-1 [85], que é baseada na classificação Euroclasse, que classifica os materiais de construção de acordo

com sua reação ao fogo. Essa classificação é baseada em testes padronizados que medem a inflamabilidade, a velocidade de propagação das chamas, a produção de fumo, a liberação de gases tóxicos e geração de partículas ou gotas inflamáveis.

O CSI é o código legal francês que regula as questões relacionadas à segurança interna, incluindo a segurança contra incêndio e a proteção civil. O CSI abrange uma ampla gama de áreas, como a organização dos serviços de emergência, medidas de segurança em eventos públicos, segurança de locais e instalações de alto risco, gestão de riscos, proteção de pessoas e bens, entre outros.

No que diz respeito à segurança contra incêndios, o CSI estabelece regulamentos específicos relacionados à prevenção, preparação, resposta e gestão de incêndios. Ele aborda questões como a elaboração de planos de prevenção e proteção contra incêndios, certificações de conformidade, inspeções de segurança, treinamento de pessoal, equipamentos de combate a incêndios, sistemas de alarme e detecção, evacuação de ocupantes, coordenação entre serviços de emergência e responsabilidades legais em caso de ocorrência de incêndio.

Esses códigos, o CCH e o CSI, são instrumentos legais essenciais na França para garantir a segurança, a conformidade e a qualidade dos edifícios, bem como a proteção contra incêndios e outras emergências. Eles estabelecem os requisitos e diretrizes que devem ser seguidos pelos proprietários, construtores, ocupantes e profissionais da construção para garantir a segurança pública e a proteção das pessoas e das propriedades contra incêndios e outros riscos relacionados à construção e habitação.

5.2.6 Brasil

No Brasil, a utilização de materiais combustíveis pode ser uma prática menos comum do que nos países previamente citados. Este comportamento se deve ao facto de o país possuir uma baixa amplitude de temperatura e um clima estável. No entanto, é possível observar a utilização crescente na aplicação de materiais mais leves e sistemas pré-fabricados e modulares, que incluem os painéis de alumínio composto.

O quadro legal contra incêndio do país é composto por normas, leis e regulamentos que estabelecem os requisitos e as diretrizes para a prevenção e o combate a incêndios. Entre os seus principais dispositivos estão as Normas Técnicas, que são documentos elaborados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que estabelece critérios e requisitos técnicos específicos que visam garantir a segurança contra incêndio em edificações, como é o caso da NBR 9077 [94], que trata das saídas de emergência em edifícios, e a NBR 10897 [86], que aborda os princípios básicos para a elaboração de um plano de emergência contra incêndios.

O Corpo de Bombeiros Militar também possui um papel fundamental na prevenção de incêndios, pois possui a atribuição de licenciar e aprovar projetos de segurança contra incêndio. Essa análise inclui aspectos como compartimentação, sistemas de proteção contra incêndio, rotas de

fuga, sinalização de emergência e outros elementos relacionados. Além disto, o órgão é responsável por realizar vistorias em edificações e ambientes públicos para verificar o cumprimento das normas e regulamentos de segurança contra incêndios.

No âmbito federal, o Brasil também conta com a Lei nº. 13.425/2017 [95], conhecida como Lei Kiss, que trata das medidas de prevenção e combate a incêndios em recintos de uso coletivo. Essa lei foi criada em resposta ao incêndio ocorrido na Boate Kiss, em Santa Maria/RS, em 2013, e estabelece diretrizes mais rígidas para a segurança contra incêndio em locais onde ocorrem eventos, shows, espetáculos e atividades similares.

Mais recentemente, e observando a crescente preocupação mundial acerca dos materiais combustíveis em fachadas, foi publicada em maio de 2021 a norma técnica da ABNT NBR 16.951 [96]. O texto estabelece requisitos sobre a reação ao fogo dos sistemas e revestimentos externos de fachadas em edifícios de grande altura, que incluem aspectos como o método de ensaio, classificação e comportamento da propagação do fogo no sistema de fachadas.

O texto possui como referência as normas britânicas BS8414 e BS9414, documentos elaborados após Grenfell e que trazem o uma regulamentação mais atualizada sobre o que pode ser implementado em ensaios de revestimento de fachadas combustíveis e não combustíveis. Assim, a norma aborda de forma especial os materiais utilizados no exterior das edificações. O objetivo deste documento é apresentar um método que permita determinar as características de reação ao fogo dos sistemas de revestimento não estruturais de fachadas, sistemas de fachadas ventiladas ou não aderidas, paredes-cortina e outros sistemas que incluam painéis de vidro, painéis instalados entre lajes de andares e isolantes compostos.

O texto da norma estabelece um procedimento para a determinação das características de reação ao fogo dos materiais por meio de um ensaio em grande escala. Segundo a norma, esse método é o único disponível para determinar de forma absoluta as propriedades de propagação de chamas dos sistemas completos de fachadas. Assim, o texto disponibiliza requisitos que, quando aplicados, podem prevenir a ocorrência de incêndio a partir da propagação das chamas pela fachada.

6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

As evoluções na construção das fachadas trouxeram diversas mudanças em suas configurações. Novos materiais e diferentes modelos que agora são utilizados para adaptar o sistema de fachadas às novas necessidades de uma economia mais verde. Este aspeto é aplicado tanto em novas construções quanto na reabilitação de fachadas antigas.

No entanto, durante este trabalho foi visto que estas mudanças levantam uma preocupação no quesito de segurança contra incêndio edifícios. Os riscos associados às suas utilizações ainda são pouco estudados e os estudos realizados até o presente momento apontam para um risco iminente na utilização de materiais como o Poliestireno Expandido e Painéis Compósitos de Alumínio, devido às suas características que favorecem a combustibilidade.

Este cenário é evidenciado pelo crescente número de acidentes envolvendo a propagação das chamas pela face exterior dos edifícios. Lacrosse, Address Downtown, Torre Grenfell e muitos outros incêndios, que utilizavam pelo menos um destes materiais, demonstram que estes riscos são reais e capazes de causar grande destruição. Além disto, estes incêndios demonstram a falha dos órgãos competentes que em muitos casos ainda permitem a utilização de materiais combustíveis na composição das fachadas.

A persistência na utilização destes materiais pode ser justificada através dos benefícios gerados ao reduzir o consumo energético e trazer uma economia constante para os edifícios. Porém, foi visto que quando os incêndios ocorrem, os gastos gerados para recuperação dos danos causados pelo fogo superam qualquer tipo de economia que possa ter sido obtida, além disto, não é aceitável que estes fatores estejam acima da garantia da segurança das pessoas que estejam ali presentes.

Quando analisado neste trabalho, foi possível verificar que o quadro legal português apresenta uma preocupação em limitar a propagação das chamas a partir do exterior dos edifícios. Em seu artigo 7º são apresentados diversos requisitos que incluem a imposição de classes de reação e resistência ao fogo dos materiais com base no sistema de Euroclasses.

Esta imposição leva em consideração fatores como qual elemento da estrutura se trata e a altura do edifício. Foi possível observar uma preocupação em estabelecer critérios de reação ao fogo mais restritivos para edifícios com altura superior a 28 m, que possuem característica que dificultam o combate ao fogo, como um maior tempo necessário para realizar a evacuação e uma maior complexidade para a atuação dos bombeiros.

Além disto, a legislação portuguesa apresenta medidas mais restritivas a serem tomadas quando se opta por construir fachadas do tipo não tradicional. Estas medidas passam por validação da ANEPC e apresentação de documentos que comprovem a sua segurança.

No entanto, esta última medida não é aplicável para fachadas ventiladas e de ETICS, que dentro da ótica do artigo 7º são enquadradas como fachadas do tipo tradicional. Como pode ser visto durante todo este trabalho fachadas ventiladas e de ETICS apresentam históricos e características demonstram uma necessidade de se aplicar critérios mais restritivos.

Em adição a isto, foi verificado a falta de exigência de critério de reação e resistência ao fogo para o suporte do revestimento em fachadas ventiladas. Esta falta de critérios pode possibilitar a utilização de materiais com baixa reação ao fogo, o que favorece a queda de materiais durante o incêndio e coloca em risco a vida das equipas de bombeiros durante o combate as chamas.

Ao verificar o estado da arte nas legislações internacionais, foi observado que não existe um consenso ou uniformidade na forma mais adequada de se tratar a propagação das chamas em fachadas. Enquanto alguns países já incluem em seu escopo legal a proibição de materiais que possam trazer risco para os edifícios e buscam o aprimoramento na prevenção de incêndios, outros ainda não apresentam mudanças relativas a esta problemática em seus requisitos legais.

Atualmente, o país que apresenta maior avanço na mudança de sua legislação para prevenir riscos de incêndio é a Inglaterra. Estas mudanças se devem principalmente pelo impacto que o incêndio na Torre Grenfell causou na região. As suas mudanças devem servir de exemplo para os demais países, sendo aplicadas maiores restrições para o uso de materiais combustíveis e melhores métodos de ensaio para prever os riscos dos materiais utilizados nos sistemas de fachadas. Alguns países já acompanham esta mudança, porém o ainda são poucos.

Além disto, foi verificado que a forma mais utilizada para verificação do comportamento dos materiais em cenários de incêndio é através de ensaios. No entanto, a realização de ensaios isolados e em pequena escala não conseguem descrever com exatidão o comportamento do sistema como um todo. Assim, é cada vez mais comum a imposição de ensaios em escala real que visam observar a interação entre os componentes da fachada e avaliar os sistemas antes da construção. A normativa BS 8414 que avalia o comportamento dos revestimentos em incêndios é atualmente a referência em termos de segurança. No entanto, estes ensaios são caros e dificilmente podem ser aplicados frequentemente, e para além disto, muito ainda deve ser estudado sobre o tema, pois análises críticas apontam que mesmo este tipo de teste pode não ser representativo para a variedade de sistemas de fachadas.

Após a pesquisa realizada para este trabalho, conclui-se que mudanças devem ser realizadas nos processos de construção de edifícios. Os projetistas devem realizar estudos mais aprofundados para verificar a melhor solução de sistema de fachadas que deve ser aplicado em cada situação, além disto, devem sempre recorrer a materiais não combustíveis em projetos de grandes edifícios. Já as entidades governamentais devem buscar aprimorar a legislação, restringindo a utilização de materiais combustíveis e buscar implementar a obrigatoriedade de ensaios escala real para todas as fachadas que apresentem riscos, como é o caso das fachadas ventiladas e de ETICS.

Deve-se também investir em pesquisa e desenvolvimento de novas ferramentas computacionais que consigam reproduzir com fidelidade a interação entre os materiais em um cenário incêndio e o comportamento que a fachada terá durante a propagação das chamas. Assim, é possível verificar os riscos e garantir a segurança evitando os custos de associados a realização de testes em escala real. Também deve ser buscado uma melhor clareza nos dados fornecidos pelos fabricantes, assim é possível ter um maior conhecimento dos efeitos da utilização dos materiais pretendidos.

Recomenda-se uma melhor investigação nos ensaios de escala real, para verificar sua implementação de forma mais comum e com objetivo de reduzir os custos associados. Para além disto, é necessária uma maior utilização de modelagem computacionais para complementar os ensaios realizados, assim é possível ter uma maior perceção dos riscos em diferentes cenários. Mas para isto, é necessário que exista uma maior exigência na fiabilidade das informações fornecidas e maiores estudo para verificação da sua aplicabilidade.

Também se recomenda estudos para verificar se as condições atualmente impostas pela legislação portuguesa trazem o nível de segurança necessário para a realidade do país. Para além disto, modelos de ensaio, como o que atualmente está a ser implementado em Inglaterra, devem ser estudados para uma maior aplicação e exigência num contexto nacional.

Nesta perspetiva, a segurança contra incêndio em edifícios se apresenta como um desafio constante, sendo necessário realizar estudos e reflexões que possibilitem que a segurança acompanhe o desenvolvimento tecnológico e permita o surgimento de novas formas de crescimento para a indústria, com foco em redução dos riscos associados a propagação das chamas em fachadas.

7 BIBLIOGRAFIA

- [1] B. Meacham and M. Mcnamee, “Fire Safety Challenges of ‘Green’ Buildings and Attributes Final Report by,” 2020. [Online]. Available: www.nfpa.org/foundation
- [2] K. Livkiss, S. Svensson, B. Husted, and P. van Hees, “Flame Heights and Heat Transfer in Façade System Ventilation Cavities,” *Fire Technol*, vol. 54, no. 3, pp. 689–713, 2018, doi: 10.1007/s10694-018-0706-2.
- [3] B. Zhou, H. Yoshioka, T. Noguchi, K. Wang, and X. Huang, “Upward Fire Spread Rate Over Real-Scale EPS ETICS Façades,” *Fire Technol*, vol. 57, no. 4, pp. 2007–2024, 2021, doi: 10.1007/s10694-021-01103-3.
- [4] M. Bonner and G. Rein, “Flammability and multi-objective performance of building façades: Towards optimum design,” *International Journal of High-Rise Buildings*, vol. 7, no. 4, pp. 363–374, Dec. 2018, doi: 10.21022/IJHRB.2018.7.4.363.
- [5] M. Bonner, W. Wegrzynski, B. K. Papis, and G. Rein, “KRESNIK: A top-down, statistical approach to understand the fire performance of building facades using standard test data,” *Build Environ*, vol. 169, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106540.
- [6] J. W. Lstiburek, “Rain Screens, Claddings, And Continuous Insulation,” 2017. [Online]. Available: www.ashrae.org.
- [7] E. Guillaume, V. Drean, B. Girardin, F. Benameur, and T. Fateh, “Reconstruction of Grenfell Tower fire. Part 1: Lessons from observations and determination of work hypotheses,” *Fire Mater*, vol. 44, no. 1, pp. 3–14, 2020, doi: 10.1002/fam.2766.
- [8] “Building Safety Programme Monthly Data Release, England: 30 November 2022,” Nov. 2022.
- [9] “Approved Document B (fire safety) volume 1: Dwellings, 2019 edition incorporating 2020 and 2022 amendments,” Dec. 2022. Accessed: Jan. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.gov.uk/government/publications/fire-safety-approved-document-b>
- [10] J. Schulz, D. Kent, T. Crimi, J. L. D. Glockling, and T. R. Hull, “A Critical Appraisal of the UK’s Regulatory Regime for Combustible Facades,” *Fire Technol*, vol. 57, no. 1, pp. 261–290, 2021, doi: 10.1007/s10694-020-00993-z.
- [11] L. Zhou, A. Chen, X. Liu, and F. Zhang, “The Effectiveness of Horizontal Barriers in Preventing Fire Spread on Vertical Insulation Panels Made of Polystyrene Foams,” *Fire Technol*, vol. 52, no. 3, pp. 649–662, May 2016, doi: 10.1007/s10694-015-0478-x.
- [12] L. Zhou, A. Chen, X. Liu, and F. Zhang, “The Effectiveness of Horizontal Barriers in Preventing Fire Spread on Vertical Insulation Panels Made of Polystyrene Foams,” *Fire Technol*, vol. 52, no. 3, pp. 649–662, May 2016, doi: 10.1007/s10694-015-0478-x.

-
- [13] S. Afipeb and Snmi, “Fire behaviour of EPS ETICS on concrete or masonry facades,” in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, May 2016. doi: 10.1051/mateconf/20164605010.
- [14] G. Badrock, “Post incident analysis report: Lacrosse Docklands, 25 November 2014,” in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, May 2016. doi: 10.1051/mateconf/20164606002.
- [15] “Melbourne apartment tower fire fuelled by combustible cladding on Spencer St high-rise,” *ABC*, Feb. 03, 2019. Accessed: Apr. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.abc.net.au/news/2019-02-04/spencer-street-apartment-fire-melbourne/10776018>
- [16] P. Hayes, “How Lacrosse and Grenfell have dramatically altered the litigation and regulatory landscape,” 2018.
- [17] J. F. Maguire and L. V. Woodcock, “Thermodynamics of tower-block infernos: Effects of water on aluminum fires,” *Entropy*, vol. 22, no. 1, p. 14, Jan. 2020, doi: 10.3390/e22010014.
- [18] A. C. Y. Yuen *et al.*, “Evaluating the fire risk associated with cladding panels: An overview of fire incidents, policies, and future perspective in fire standards,” *Fire Mater*, vol. 45, no. 5, pp. 663–689, Aug. 2021, doi: 10.1002/fam.2973.
- [19] A. C. Y. Yuen *et al.*, “Evaluating the fire risk associated with cladding panels: An overview of fire incidents, policies, and future perspective in fire standards,” *Fire Mater*, vol. 45, no. 5, pp. 663–689, Aug. 2021, doi: 10.1002/fam.2973.
- [20] N. Barakat, “Fire at Address hotel on New Year’s Eve caused by electrical fault: Dubai Police,” 2016.
- [21] A. A. Khan, R. V. V. Domada, X. Huang, M. A. Khan, and A. Usmani, “Modeling the collapse of the Plasco Building. Part I: Reconstruction of fire,” *Build Simul*, vol. 15, no. 4, pp. 583–596, Apr. 2022, doi: 10.1007/s12273-021-0825-4.
- [22] J. Schulz, D. Kent, T. Crimi, J. L. D. Glockling, and T. R. Hull, “A Critical Appraisal of the UK’s Regulatory Regime for Combustible Façades,” *Fire Technol*, vol. 57, no. 1, pp. 261–290, Jan. 2021, doi: 10.1007/s10694-020-00993-z.
- [23] B. Lane, “DR BARBARA LANE REPORT OF SPECIALIST FIELD ON BEHALF OF: FIRE SAFETY ENGINEERING GRENFELL TOWER INQU IRY,” 2018.
- [24] B. Lane, “REPORT OF SPECIALIST FIELD ON BEHALF OF: DR BARBARA LANE FIRE SAFETY ENGINEERING GRENFELL TOWER INQUIRY,” 2018.
- [25] E. Guillaume, V. Dréan, B. Girardin, F. Benameur, and T. Fateh, “Reconstruction of Grenfell Tower fire. Part 1: Lessons from observations and determination of work hypotheses,” *Fire Mater*, vol. 44, no. 1, pp. 3–14, Jan. 2020, doi: 10.1002/fam.2766.

-
- [26] E. Guillaume, V. Dréan, B. Girardin, and T. Fateh, “Reconstruction of the Grenfell Tower fire – Part 4: Contribution to the understanding of fire propagation and behaviour during horizontal fire spread,” *Fire Mater*, vol. 44, no. 8, pp. 1072–1098, Dec. 2020, doi: 10.1002/fam.2911.
- [27] M. M. Hirschler, “Façade requirements in the 2021 edition of the US International Building Code,” *Fire Mater*, vol. 45, no. 5, pp. 586–597, Aug. 2021, doi: 10.1002/fam.2803.
- [28] James Oaten, “Cladding risks raised by Melbourne fire brigade before Neo200 blaze, but council deemed risk ‘low,’” *ABC*, Jun. 22, 2019. Accessed: Apr. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.abc.net.au/news/2019-06-23/melbourne-city-council-neo200-advice-before-fire-at-tower/11225992>
- [29] T. Herzong, R. Krippner, and W. Lang, *Facade Construction Manual*, 3rd ed. Detail, 2021. Accessed: Mar. 06, 2023. [Online]. Available: https://issuu.com/detail-magazine/docs/978-3-95553-369-4_bk_facade_costruction_manual_en_
- [30] R. Korman, “The Architecture of the Facade.”
- [31] S. Mendes, F. Morais, and D. Brandão, *SISTEMAS PARA FACHADAS VENTILADAS UM ESTUDO COMPARATIVO*. 2016.
- [32] R. J. Crewe *et al.*, “Fire Performance of Sandwich Panels in a Modified ISO 13784-1 Small Room Test: The Influence of Increased Fire Load for Different Insulation Materials,” *Fire Technol*, vol. 54, no. 4, pp. 819–852, Jul. 2018, doi: 10.1007/s10694-018-0703-5.
- [33] Y. C. Wang and A. Foster, “Experimental and numerical study of temperature developments in PIR core sandwich panels with joint,” *Fire Saf J*, vol. 90, pp. 1–14, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.firesaf.2017.03.003.
- [34] Fibrosom, “Isolamentos - Lã rocha,” 2023. <https://www.fibrosom.com/Produtos.aspx?id=2> (accessed Mar. 08, 2023).
- [35] J. P. Hidalgo, S. Welch, and J. L. Torero, “Performance criteria for the fire safe use of thermal insulation in buildings,” *Constr Build Mater*, vol. 100, pp. 285–297, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.014.
- [36] J. P. Hidalgo, J. L. Torero, and S. Welch, “Experimental Characterisation of the Fire Behaviour of Thermal Insulation Materials for a Performance-Based Design Methodology,” *Fire Technol*, vol. 53, no. 3, pp. 1201–1232, May 2017, doi: 10.1007/s10694-016-0625-z.
- [37] Fibrosom, “Isolamentos - Poliestireno expandido,” 2023. <https://www.fibrosom.com/Produtos.aspx?id=4> (accessed Mar. 08, 2023).

-
- [38] B. S. De Macedo and G. Protzek, “ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO TÉRMICA POR FT-IR DO POLIURETANO DERIVADO DO ÓLEO DE MAMONA UTILIZADO COMO ISOLANTE TÉRMICO,” 2013. [Online]. Available: www.utfpr.edu.br
- [39] R. Tu *et al.*, “Coupling effects of pressure and inclination on downward flame spread over flexible polyurethane foam board,” *Build Environ*, vol. 164, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106339.
- [40] Fibrosom, “Isolamentos - POLIISOCIANURATO,” 2023. <https://www.fibrosom.com/Produtos.aspx?id=34> (accessed Mar. 08, 2023).
- [41] I. Kotthoff, S. Hauswaldt, O. Riese, and J. Riemesch-Speer, “Investigations of the performance of facades made of ETICS with polystyrene under external fire exposure and fire safety measures for their improvement,” in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, May 2016. doi: 10.1051/mateconf/20164602007.
- [42] D. Bjegović, I. B. Pečur, B. Milovanović, M. J. Rukavina, and M. Bagarić, “Usporedba ponašanja različitih ETICS sustava u uvjetima požara ispitivanjem u stvarnoj veličini,” *Gradjevinar*, vol. 68, no. 5, pp. 357–369, May 2016, doi: 10.14256/JCE.1347.2015.
- [43] European Commission:, “COM/2010/0639 Communication from the Commission to the European Parliament, the council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions,” *Energy 2020 A strategy for competitive, sustainable and secure energy*, 2010.
- [44] “European Parliament, Council of the European Union: Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast),” *Official Journal of the European Union*, L 153/13, 2010.
- [45] M. Azarbayjani, “High-Performance Double Skin Façade Buildings; Climatic-Based Exploration,” 2023.
- [46] S. Barbosa and K. Ip, “Predicted thermal acceptance in naturally ventilated office buildings with double skin façades under Brazilian climates,” *Journal of Building Engineering*, vol. 7, pp. 92–102, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.job.2016.05.006.
- [47] S. Colwell and T. Baker, *FIRE PERFORMANCE OF EXTERNAL THERMAL INSULATION FOR WALLS OF MULTISTOREY BUILDINGS*, 3rd ed. bretrust, 2013.
- [48] H. Peixoto, “7 casas portuguesas tradicionais que inspiram,” Jan. 09, 2020. <https://projetos.habitissimo.pt/projeto/casas-portuguesas-tradicionais-que-inspiram> (accessed Mar. 01, 2023).
- [49] T. D. Nguyen and F. Meftah, “Behavior of clay hollow-brick masonry walls during fire. Part 1: Experimental analysis,” *Fire Saf J*, vol. 52, pp. 55–64, Aug. 2012, doi: 10.1016/j.firesaf.2012.06.001.

-
- [50] S. L. Manzello, R. G. Gann, S. R. Kukuck, K. R. Prasad, and W. W. Jones, “An experimental determination of a real fire performance of a non-load bearing glass wall assembly,” *Fire Technol*, vol. 43, no. 1, pp. 77–89, Mar. 2007, doi: 10.1007/s10694-006-0001-5.
- [51] T. D. Nguyen and F. Meftah, “Behavior of hollow clay brick masonry walls during fire. Part 2: 3D finite element modeling and spalling assessment,” *Fire Saf J*, vol. 66, pp. 35–45, 2014, doi: 10.1016/j.firesaf.2013.08.017.
- [52] Y. Wang, Q. Wang, Y. Su, J. Sun, L. He, and K. M. Liew, “Fracture behavior of framing coated glass curtain walls under fire conditions,” *Fire Saf J*, vol. 75, pp. 45–58, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.firesaf.2015.05.002.
- [53] Y. Wang *et al.*, “Fracture behavior of a four-point fixed glass curtain wall under fire conditions,” *Fire Saf J*, vol. 67, pp. 24–34, 2014, doi: 10.1016/j.firesaf.2014.05.002.
- [54] EAE, “About ETICS,” 2021.
- [55] M. Hajduković, N. Knez, F. Knez, and J. Kolšek, “Fire Performance of External Thermal Insulation Composite System (ETICS) Facades with Expanded Polystyrene (EPS) Insulation and Thin Rendering,” *Fire Technol*, vol. 53, no. 1, pp. 173–209, Jan. 2017, doi: 10.1007/s10694-016-0622-2.
- [56] HILTI, “Catalogue Façade Ventilée,” 2018. <https://www.hilti.fr/content/dam/documents/pdf/e2/fr/Catalogue%20facade%202018.pdf> (accessed Mar. 08, 2023).
- [57] J. W. Lstiburek, “COLUMN BUILDING SCIENCES,” 2017. [Online]. Available: www.ashrae.org.
- [58] S. Colwell and T. Baker, “FIRE PERFORMANCE OF EXTERNAL THERMAL INSULATION FOR WALLS OF MULTISTOREY BUILDINGS,” 2013.
- [59] N. White, C. Highett, V. Australia, and M. Delichatsios, “Fire Hazards of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components Information Bulletin,” 2014. [Online]. Available: www.nfpa.org/Foundation
- [60] A. Sharma and K. B. Mishra, “Experimental investigations on the influence of ‘chimney-effect’ on fire response of rainscreen façades in high-rise buildings,” *Journal of Building Engineering*, vol. 44, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.job.2021.103257.
- [61] C. Sanjuan, M. J. Suárez, M. González, J. Pistono, and E. Blanco, “Energy performance of an open-joint ventilated façade compared with a conventional sealed cavity façade,” *Solar Energy*, vol. 85, no. 9, pp. 1851–1863, Sep. 2011, doi: 10.1016/j.solener.2011.04.028.
- [62] M. Azarbayjani, *High-Performance Double Skin Façade Buildings; Climatic-Based Exploration*. Routledge, 2023.
-

-
- [63] by Cheuk Lun CHOW, L. Road, and H. Kong, “SPREAD OF SMOKE AND HEAT ALONG NARROW AIR CAVITY IN DOUBLE-SKIN FAÇADE FIRES.”
- [64] X. Ma *et al.*, “Experimental study of interlayer effect induced by building facade curtain wall on downward flame spread behavior of polyurethane,” *Appl Therm Eng*, vol. 167, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114694.
- [65] J. Ji, Y. F. Li, W. X. Shi, and J. H. Sun, “Numerical studies on smoke spread in the cavity of a double-skin façade,” *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 22, no. 4, pp. 470–479, May 2016, doi: 10.3846/13923730.2014.897992.
- [66] Allianz Risk Consulting, *Sandwich Panel*, vol. 17. 2020. [Online]. Available: www.agcs.allianz.com
- [67] N. White, C. Highett, V. Australia, and M. Delichatsios, “Fire Hazards of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components Information Bulletin,” 2014. [Online]. Available: www.nfpa.org/Foundation
- [68] L. S. H. Lee and C. Y. Jim, “Transforming thermal-radiative study of a climber green wall to innovative engineering design to enhance building-energy efficiency,” *J Clean Prod*, vol. 224, pp. 892–904, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.278.
- [69] P. Zazzini and G. Grifa, “Energy Performance Improvements in Historic Buildings by Application of Green Walls: Numerical Analysis of an Italian Case Study,” in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, 2018, pp. 1143–1150. doi: 10.1016/j.egypro.2018.08.028.
- [70] *Fire Performance of Green Roofs and Walls August 2013 Department for Communities and Local Government*. [Online]. Available: www.gov.uk/dclg
- [71] F. Frontini, P. Bonomo, D. Moser, and L. Maturi, “Building integrated photovoltaic facades: challenges, opportunities and innovations,” in *Rethinking Building Skins: Transformative Technologies and Research Trajectories*, Elsevier, 2021, pp. 201–229. doi: 10.1016/B978-0-12-822477-9.00012-7.
- [72] L. Mazziotti, P. Cancelliere, G. Paduano, P. Setti, and S. Sassi, “Fire risk related to the use of PV systems in building facades,” in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, May 2016. doi: 10.1051/mateconf/20164605001.
- [73] V. P. Silva and R. Ono, “Prevenção contra Incêndio no Projeto de Arquitetura (Construção com Aço),” 2010. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/267331401>
- [74] A5S Laudo e Engenharia, “Quais as diferenças entre Compartimentação e Isolamento de Risco?” <https://www.a5s.com.br/blog/quais-as-diferencas-entre-compartmentacao-e-isolamento-de-risco/> (accessed Apr. 23, 2023).

-
- [75] A. Law and G. Spinardi, “Performing Expertise in Building Regulation: ‘Codespeak’ and Fire Safety Experts,” *Minerva*, vol. 59, no. 4, pp. 515–538, Dec. 2021, doi: 10.1007/s11024-021-09446-5.
- [76] “PU Europe FIRE SAFETY HANDBOOK.”
- [77] N. White, M. Delichatsios, M. Ahrens, and A. Kimball, “Fire hazards of exterior wall assemblies containing combustible components,” in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, 2013. doi: 10.1051/mateconf/20130902005.
- [78] Y. Wang, Q. Wang, Y. Su, J. Sun, L. He, and K. M. Liew, “Fracture behavior of framing coated glass curtain walls under fire conditions,” *Fire Saf J*, vol. 75, pp. 45–58, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.firesaf.2015.05.002.
- [79] N. White, C. Highett, V. Australia, and M. Delichatsios, “Fire Hazards of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components Information Bulletin,” 2014. [Online]. Available: www.nfpa.org/Foundation
- [80] S. Bahrami and D. Zeinali, “The sustainability challenge of product information quality in the design and construction of facades: lessons from the Grenfell Tower fire,” *Smart and Sustainable Built Environment*, Apr. 2022, doi: 10.1108/SASBE-06-2021-0100.
- [81] “Lei 123/2019, Diário da República, 1.^a série — N.º 201 — 18 de outubro de 2019, pag 3 a 7922”.
- [82] “Portaria 1532/2008, Diário da República, 1.^a série — N.º 250 — 29 de Dezembro de 2008, pag. 9050 a 9127”.
- [83] *Portaria 135/2020, Diário da República, 1.^a série — N.º 107 — 02 de junho de 2020, pag. 2 a 214.*
- [84] C. Ferreira de Castro and J. Barreira Abrantes, *Manual de Segurança Contra Incêndio em Edifícios*. Sintra: Escola Nacional de Bombeiros, 2009.
- [85] Association Francaise de Normalisation, “NF EN 13501-1 : 2007 + A1 2013 - FIRE CLASSIFICATION OF CONSTRUCTION PRODUCTS AND BUILDING ELEMENTS - PART 1: CLASSIFICATION USING DATA FROM REACTION TO FIRE TESTS,” 2013.
- [86] Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 10897 - 2020 Sistemas de Proteção Contra Incêndio Por Chuveiros Automáticos,” 2020.
- [87] British Standards Institution, “BS 9414:2019 Fire performance of external cladding systems. The application of results from BS 8414-1 and BS 8414-2 tests,” 2019.
- [88] Department of Preventive Safety Services, “UAE FIRE AND LIFE SAFETY CODE OF PRACTISE,” 2018.
- [89] Australian Building Codes Board, “Building Code of Australia,” 2022.
-

-
- [90] Standards Association of Australia., *Methods for fire tests on building materials, components and structures. Part 1. Combustibility test for materials.* Standards Australia, 1994.
- [91] Standards Australia International Limited. and Standards New Zealand., *Methods for fire tests on building materials, components and structures. Part 3, Simultaneous determination of ignitability, flame propagation, heat release and smoke release.* Standards Australia International, 1999.
- [92] République Française, “Code de la construction et de l’habitation,” 2023. [Online]. Available: <https://droit.org/form.html>
- [93] République Française, “Code de la sécurité intérieure,” 2023. [Online]. Available: <https://droit.org/form.html>
- [94] Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 9077:2001 - Saídas de emergência em edifícios,” 2001.
- [95] República Federativa do Brasil, “Lei 13425-2017 - Prevenção e combate a incêndios,” 2017.
- [96] Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 16951:2021 - Reação ao fogo de sistemas e revestimentos externos de fachadas - Método de ensaio, classificação e aplicação dos resultados de propagação do fogo nas superfícies das fachadas,” 2021.
