

# **A SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E AS MEDIDAS DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

**ANA BEATRIZ RODRIGUES DE SOUSA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Professor Doutor Miguel Jorge Chichorro Rodrigues Gonçalves

---

Coorientadora: Professora Doutora Elisabete da Cunha Cordeiro

JUNHO DE 2024

---

## MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2023/2024

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ [m.ec@fe.up.pt](mailto:m.ec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil – 2023/2024 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2024*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais

*Take these broken wings and learn to fly*

*The Beatles*



## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Miguel Chichorro Gonçalves pela sua disponibilidade e simpatia desde o primeiro momento em que o contactei. O seu gosto e dedicação pela SCIE foram-me transmitidos e motivou-me a escolher este tema. Agradeço também o grande esforço que o professor Miguel fez para orientar esta dissertação numa situação delicada.

Agradeço à engenheira Elisabete Cordeiro, do LNEC, pela sua prontidão para resolver qualquer problema ou dúvida e pelas suas ideias e sugestões indispensáveis para a concretização desta dissertação.

Quero agradecer também ao professor Rui Calejo pela sua rapidez e disposição para me ajudar a progredir na dissertação.

Aos meus pais que são as pessoas mais trabalhadoras e resilientes que conheço, obrigada. À minha mãe que, apesar de inúmeras horas de trabalho, arranjava sempre maneira de passar tempo comigo e mimar-me; e ao meu pai, que, na sua maneira, me mostrou carinho e orgulho que me motivaram a continuar. Mãe, obrigada pelos pequenos-almoços, pelos cozinhados, pelos miminhos e pela tua disponibilidade para fazeres tudo por mim. Pai, obrigada por me ensinares a lutar pelo que quero e por toda a tua ajuda durante o meu curso. Tudo o que conquistei devo-o a vocês. Podem ler o meu nome no diploma, mas eu lerei para sempre o vosso.

À minha irmã mais velha que me acompanhou e apoiou durante toda a minha vida. Obrigada por todos os conselhos que me deste, por brincares comigo, por me ensinares inglês e em geral, por seres minha irmã.

À minha avó Judite, que apesar de não estar cá para acompanhar o meu percurso, educou-me com todo o seu amor e carinho.

Ao meu namorado que me motivou durante a “loucura” das épocas de exames, que me distraiu nos momentos de maior *stress* e que me fez, e faz, uma pessoa mais feliz.

Obrigada à minha família por me acompanhar durante este percurso.

Agradeço aos meus amigos, que foram um grande apoio e nunca me deixaram ir abaixo. Agradeço-vos pela companhia, amizade e carinho com que sempre me trataram, por me ouvirem todos os dias e por me animarem.



## Resumo

A sustentabilidade é um assunto emergente na sociedade atual devido à preocupação com as alterações climáticas. Assim, a sustentabilidade também tem vindo a ser integrada na construção civil, um dos setores mais poluentes atualmente.

A motivação desta dissertação surge da crescente preocupação com a integração de materiais sustentáveis na segurança contra incêndio em edifícios, sendo que muitos dos materiais que são utilizados em prol da sustentabilidade podem comprometer a segurança do edifício.

Deste modo, foi conduzido um estudo sobre os materiais e tecnologias sustentáveis mais utilizados de modo a apresentar os seus benefícios em termos de sustentabilidade, mas também avaliar os perigos que o uso destes materiais representa e como seria possível mitigar o risco de incêndio.

Foi também estudada a legislação portuguesa de segurança contra incêndios e propostas alterações à mesma, de forma a viabilizar o uso de mais materiais e tecnologias sustentáveis sem comprometer a segurança..

Durante a realização do trabalho foi analisado um estudo de caso, onde foram sugeridas alterações para que o projeto pudesse obter uma certificação sustentável.

Este estudo permitiu identificar várias lacunas na legislação portuguesa de segurança contra incêndios no que diz respeito aos materiais sustentáveis e assim propor alterações, mas também estudar os vários riscos dos materiais sustentáveis que são utilizados atualmente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Segurança, Incêndio, Edifícios, sustentabilidade, legislação, benefícios, riscos



## **ABSTRACT**

Sustainability is an emerging issue in today's society due to concerns about climate change. Thus, sustainability has also been integrated into the construction industry, one of the most polluting sectors today.

The motivation for this dissertation arises from the growing concern about the integration of sustainable materials into fire safety in buildings, since many of the materials that are used for the sake of sustainability are detrimental to the safety of the building.

A study was therefore carried out into the most commonly used sustainable materials and technologies in order to present their benefits in terms of sustainability, but also to assess the dangers that the use of these materials represents and how it would be possible to mitigate the risk of fire.

Portuguese fire safety legislation was also studied and changes to it were proposed so that it would be possible to use more sustainable materials and technologies without compromising safety.

During the course of the work, a case study was analysed, in which changes were suggested so that the project could obtain a sustainable certification.

This study made it possible to point out various gaps in Portuguese fire safety legislation regarding sustainable materials and therefore propose changes, but also to study the various risks of sustainable materials that are currently used.

**KEYWORDS:** Fire, Safety, sustainability, legislation, benefits, risks



<b>ÍNDICE GERAL</b>	
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE GERAL</b> .....	<b>VII</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1 ENQUADRAMENTO</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2 MOTIVAÇÃO</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO</b> .....	<b>2</b>
1.3.1 OBJETIVO GERAL .....	2
1.3.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS .....	3
<b>1.4 METODOLOGIA DO TRABALHO</b> .....	<b>3</b>
<b>1.5 ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA</b> .....	<b>3</b>
<b>ESTADO DA ARTE</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 SUSTENTABILIDADE</b> .....	<b>5</b>
2.1.1 CERTIFICAÇÕES .....	5
<b>2.2 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIO</b> .....	<b>17</b>
<b>INTERSEÇÕES E DESAFIOS</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1 DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS NA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL</b> .....	<b>22</b>
3.1.1 INTRODUÇÃO .....	22
3.1.2 MATERIAIS E TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS .....	22
3.1.3 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS .....	23
3.1.3.1 Exemplos de incidentes .....	25
3.1.4 COBERTURAS E FACHADAS VERDES .....	26
3.1.4.1 Exemplos de incidentes .....	28
3.1.5 FACHADAS VENTILADAS .....	29
3.1.5.1 Exemplos de incidentes .....	30
3.1.6 ESTRUTURAS E REVESTIMENTOS DE MADEIRA .....	31
3.1.6.1 Exemplos de incidentes .....	35
3.1.7 SISTEMA ETICS .....	36
3.1.7.1 Exemplos de incidentes .....	37
3.1.8 PAINÉIS SANDWICH .....	39
3.1.9 OUTROS ISOLAMENTOS .....	41
<b>3.2 BOAS PRÁTICAS DE PROMOÇÃO DA INTEGRAÇÃO DA SCIE NA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL</b>	<b>43</b>
3.2.1 <i>SPRINKLERS</i> .....	43
3.2.1.1 Vantagens e Desvantagens .....	46

3.2.1.2 Prescrição regulamentar de instalação de sistemas automáticos de extinção de incêndios ....	48
<b>REFLEXÃO DE ALTERAÇÃO DA LEGISLAÇÃO .....</b>	<b>50</b>
<b>4.1 CONTEXTO HISTÓRICO .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2 ANÁLISE DE ALTERAÇÕES .....</b>	<b>51</b>
4.2.1 EXEMPLO DE ABORDAGEM MISTA .....	52
4.2.2 ANÁLISE APRESENTADA NO ÂMBITO DESTE TRABALHO.....	54
<b>4.3 CONCLUSÕES.....</b>	<b>57</b>
<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>58</b>
<b>5.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>58</b>
<b>5.2 ANÁLISE DE CONFORMIDADE REGULAMENTAR.....</b>	<b>58</b>
<b>5.3 ANÁLISE SUSTENTÁVEL .....</b>	<b>59</b>
5.3.1 ESTALEIROS SUSTENTÁVEIS .....	59
5.3.2 LOCALIZAÇÃO E TRANSPORTES .....	59
5.3.3 EFICIÊNCIA HÍDRICA.....	60
5.3.4 ENERGIA E ATMOSFERA .....	61
5.3.5 MATERIAIS E RECURSOS .....	62
5.3.6 QUALIDADE AMBIENTAL INTERNA.....	62
5.3.7 INOVAÇÃO NO DESIGN .....	64
5.3.8 PRIORIDADE REGIONAL .....	64
5.3.9 PROCESSO INTEGRADOR.....	64
5.3.10 CONCLUSÕES .....	65
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>68</b>
<b>6.1 REFLEXÕES FINAIS .....</b>	<b>68</b>
<b>6.2 LIMITAÇÕES DOS RESULTADOS DO ESTUDO.....</b>	<b>68</b>
<b>6.3 LINHAS DE INVESTIGAÇÃO FUTURA .....</b>	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>71</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Logótipo LEED (Fonte: <a href="https://globalroofinggroup.com/blog/what-is-leed-certification/">https://globalroofinggroup.com/blog/what-is-leed-certification/</a> ).....	5
Figura 2.2 Sonae Maia Business Center (Fonte: <a href="https://prudencio.pt/pt/reference_works/sonae-maia-business-center/">https://prudencio.pt/pt/reference_works/sonae-maia-business-center/</a> ) .....	6
Figura 2.3 Categorias avaliadas pelo sistema BREEAM (Fonte: <a href="https://www.ecoreal.fi/en/service/breeam-in-use-environmental-classification/">https://www.ecoreal.fi/en/service/breeam-in-use-environmental-classification/</a> ) .....	14
Figura 2.4 Créditos BREEAM e LEED (Fonte: [9]) .....	15
Figura 2.5 Classificação da ADENE (Fonte: <a href="https://www.deco.proteste.pt/dinheiro/comprar-vender-casa/noticias/certificado-energetico-que-e-onde-pedir-qual-preco">https://www.deco.proteste.pt/dinheiro/comprar-vender-casa/noticias/certificado-energetico-que-e-onde-pedir-qual-preco</a> ).....	16
Figura 2.6 Antes e depois da reabilitação da fachada (Fonte: <a href="https://www.theguardian.com/uk-news/2018/jun/05/dangerous-building-works-turned-grenfell-tower-death-trap-inquiry">https://www.theguardian.com/uk-news/2018/jun/05/dangerous-building-works-turned-grenfell-tower-death-trap-inquiry</a> ) .....	18
Figura 2.7 Resultado da torre Grenfell após o incêndio (Fonte: <a href="https://www.rtp.pt/noticias/mundo/incendio-na-torre-grenfell-comecou-num-frigorifico_n1010002">https://www.rtp.pt/noticias/mundo/incendio-na-torre-grenfell-comecou-num-frigorifico_n1010002</a> ) ....	19
Figura 3.1 Composição de um PV (Fonte: <a href="https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html">https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html</a> ).....	24
Figura 3.2 PV na cobertura (Fonte: <a href="https://www.portal-energia.com/guia-pratico-comprar-paineis-solares-fotovoltaicos">https://www.portal-energia.com/guia-pratico-comprar-paineis-solares-fotovoltaicos</a> ) .....	25
Figura 3.3 Incêndio de Delanco, NJ (Fonte: <a href="https://www.nj.com/burlington/2013/09/dietz_and_watson_warehouse_fire_solar_panels_make_battling_blaze_much_harder_officials_say.html">https://www.nj.com/burlington/2013/09/dietz_and_watson_warehouse_fire_solar_panels_make_battling_blaze_much_harder_officials_say.html</a> ) .....	26
Figura 3.4 Composição de uma cobertura verde (Fonte: [18]) .....	27
Figura 3.5 Composição de uma fachada verde (Fonte: [20]) .....	27
Figura 3.6 Incêndio de Portland, Londres (Fonte: <a href="https://livingarchitecturemonitor.com/articles/green-roofs-fire-su21">https://livingarchitecturemonitor.com/articles/green-roofs-fire-su21</a> ) .....	28
Figura 3.7 Composição de uma fachada ventilada (Fonte: <a href="https://beyondsustainablearchitecture.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/08/5-5-fv-esquema-de-sistema-constructivo_.jpg">https://beyondsustainablearchitecture.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/08/5-5-fv-esquema-de-sistema-constructivo_.jpg</a> ) .....	29
Figura 3.8 Incêndio de Valencia (Fonte: <a href="https://pt.euronews.com/2024/02/23/porque-e-que-o-incendio-de-valencia-devorou-138-casas-numa-hora">https://pt.euronews.com/2024/02/23/porque-e-que-o-incendio-de-valencia-devorou-138-casas-numa-hora</a> ) .....	31
Figura 3.9 Revestimento de parede em madeira (Fonte: <a href="https://www.ladecora.com.br/2019/10/25/paineis-de-madeira-ideias-e-dicas-de-como-utilizar/">https://www.ladecora.com.br/2019/10/25/paineis-de-madeira-ideias-e-dicas-de-como-utilizar/</a> ) .....	32
Figura 3.10 LVL (Fonte: <a href="https://fomexgroup.vn/plywood-news/what-is-lvl-how-is-it-made-and-the-application-of-lvl.html">https://fomexgroup.vn/plywood-news/what-is-lvl-how-is-it-made-and-the-application-of-lvl.html</a> ) .....	32
Figura 3.11 CLT (Fonte: <a href="https://ztc.lv/en/prefabricated-wood-houses/clt-wood-house/">https://ztc.lv/en/prefabricated-wood-houses/clt-wood-house/</a> ) .....	33
Figura 3.12 Estrutura de Glulam (Fonte: <a href="https://structurecraft.com/materials/engineered-wood/glulam">https://structurecraft.com/materials/engineered-wood/glulam</a> ) .....	33
Figura 3.13 OSB (Fonte: <a href="https://www.ladenburger.de/index.php/en/wood-engineering/zugeschnitten-2/osb-platten">https://www.ladenburger.de/index.php/en/wood-engineering/zugeschnitten-2/osb-platten</a> ).....	34

Figura 3.14 Estrutura pré-fabricada (Fonte: <a href="https://www.casaprefabricada.org/casas-pre-fabricadas-de-madeira-usadas/">https://www.casaprefabricada.org/casas-pre-fabricadas-de-madeira-usadas/</a> ).....	34
Figura 3.15 Incêndio na Califórnia (Fonte: <a href="https://www.enr.com/articles/53944-blaze-destroys-wood-framed-hotel-project-in-california">https://www.enr.com/articles/53944-blaze-destroys-wood-framed-hotel-project-in-california</a> ) .....	36
Figura 3.16 Composição de um sistema ETICS (Fonte: <a href="https://blog.odem.pt/precos-do-revestimento-etics-o-que-os-influencia">https://blog.odem.pt/precos-do-revestimento-etics-o-que-os-influencia</a> ) .....	37
Figura 3.17 Incêndio de Shangai (Fonte: <a href="https://www.nbcnews.com/slideshow/news/fire-ravages-shanghai-skyscraper-40196455">https://www.nbcnews.com/slideshow/news/fire-ravages-shanghai-skyscraper-40196455</a> ).....	38
Figura 3.18 Incêndio do TVCC.....	39
Figura 3.19 Painéis <i>sandwich</i> .....	40
Figura 3.20 Painéis <i>sandwich</i> de diferentes materiais (Fonte: <a href="https://www.airesalmeida.com/index.php/produtos">https://www.airesalmeida.com/index.php/produtos</a> ).....	41
Figura 3.21 Composição de um SIP (Fonte: <a href="https://acmepanel.com/">https://acmepanel.com/</a> ) .....	42
Figura 3.22 Composição de um sprinkler (Fonte: <a href="http://www.skop.com.br/wp-content/uploads/2018/09/Palestra-Skop-DGST_CBMERJ-Sprinkler_Sistema_Produto_Norma_Certifica----o-Rev-2.pdf">http://www.skop.com.br/wp-content/uploads/2018/09/Palestra-Skop-DGST_CBMERJ-Sprinkler_Sistema_Produto_Norma_Certifica----o-Rev-2.pdf</a> ) .....	43
Figura 3.23 - Funcionamento de uma ampola de vidro (Fonte: [43]).....	44
Figura 3.24 <i>Sprinkler</i> de fusível térmico.....	44
Figura 3.25 Cobertura alargada vs. Cobertura normal (Fonte: <a href="https://www.linkedin.com/pulse/por-que-utilizar-sprinklers-de-cobertura-estendida-santos/">https://www.linkedin.com/pulse/por-que-utilizar-sprinklers-de-cobertura-estendida-santos/</a> ).....	46
Figura 3.26 Portas corta-fogo (Fonte: <a href="https://www.univerautomatic.com/portas-corta-fogo-santarem/">https://www.univerautomatic.com/portas-corta-fogo-santarem/</a> ) .....	49
Figura 4.1 Composição de material compósito metálico proibido (Fonte: <a href="https://www.alpolic-americas.com/products/polyethylene-core/">https://www.alpolic-americas.com/products/polyethylene-core/</a> ) .....	53
Figura 4.2 Esquema do ensaio SBI (Fonte: <a href="https://www.semanticscholar.org/paper/The-Single-Burning-Item-%28SBI%29-test-method-a-decade-Mierlo-Sette/f0007100408df847cca3d5b459c442cdbf1462e0/figure/0">https://www.semanticscholar.org/paper/The-Single-Burning-Item-%28SBI%29-test-method-a-decade-Mierlo-Sette/f0007100408df847cca3d5b459c442cdbf1462e0/figure/0</a> ) .....	56
Figura 5.1 Medidas de lugares de bicicleta (Fonte: <a href="https://www.bikestands.com.au/product/bike-parking-stands-4-bicycles/">https://www.bikestands.com.au/product/bike-parking-stands-4-bicycles/</a> ) .....	60
Figura 5. 2 Exemplo de uma parede em vidro (Fonte: <a href="https://www.vivadecora.com.br/revista/parede-de-vidro/">https://www.vivadecora.com.br/revista/parede-de-vidro/</a> ).....	63
Figura 5. 3 Certificado nível <i>Gold</i> (Fonte: <a href="http://www.grupoortega.com.br/certificacao/">http://www.grupoortega.com.br/certificacao/</a> ) .....	67

## ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

Tabela 2.1 Categorias LEED (Adaptado de: [6]).....	6
Tabela 2.2 Pré-requisitos LEED (Adaptado de: [7]).....	7
Tabela 2.3 Créditos LEED (Adaptado de: [7]).....	8
Tabela 2.4 Níveis do certificado LEED (Adaptado de:[6]) .....	13
Tabela 2.5 Categorias BREEAM (Adaptado de: [9]).....	14
Tabela 2.6 Níveis de pontuação do BREEAM (Adaptado de: [8]) .....	15
Tabela 3.1 Tabela de risco de incêndio (Adaptado de: [20]) .....	23
Tabela 3.2 Código de cores de acordo com a temperatura de funcionamento (Fonte: [43] Retirado diretamente) .....	45
Tabela 3.3 Incêndio numa sala de estar com e sem <i>sprinklers</i> (Adaptado de: [46]).....	47
Tabela 3.4 Incêndio num quarto com e sem <i>sprinklers</i> (Adaptado de: [45]) .....	48
Tabela 3.5 Materiais corta-fogo e as suas aplicações (Adaptado de: [51]) .....	49
Tabela 4.1 Tipos de incêndio .....	54
Tabela 4.2 Fator de severidade do incêndio.....	55
Tabela 4.3 Tipo de ocupantes.....	55
Tabela 4.4 Classes de perigo.....	56
Tabela 5.1 Descrição exhaustiva dos pontos .....	65
Tabela 5. 2 Resumo dos pontos .....	67

## SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

### 1. SÍMBOLOS

Q- Caudal [L/min]

P- Pressão [bar]

K- Coeficiente de descarga

IP<sub>UT</sub>- Índice de perigosidade

F<sub>PI</sub>- Fatores de risco

F<sub>SI</sub>- Fator de severidade do incêndio

F<sub>AE</sub>- Fator da altura do edifício

F<sub>EF</sub>- Efetivo associado à UT

F<sub>TO</sub>- Tipo de ocupantes existentes na UT

### 2. ACRÓNIMOS | SIGLAS

ADENE- Agência para a Energia

ANEPC- Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil

ASHRAE- *American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

AVAC- Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BRE- *Building Research Establishment*

BREEAM- *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

CLT - *Cross Laminated Timber*

CO - Monóxido de carbono

CR- Categoria de risco

EPA- *Environmental Protection Agency*

EPS - Poliestireno expandido

ER - *Early Response*

ERTI - *Emergency Response Time Index*

ESFR - *Early Supression Fast Response*

ETICS - *External Thermal Insulation Composite Systems*

EVA- *Ethylene Vinyl Acetate*

FRP- *Fiber reinforced polymers*

FSC - *Forest Stewardship Council*

GWP- *Global Warming Potencial*

HCN - Cianeto de hidrogénio

HCl - Ácido Clorídrico

LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*

LNCE - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LVL - *Laminated Veneer Lumber*

MDF- *Medium Density Fiberboard*

NIOSH - *National Institute for Occupational Safety and Health*

OSB - *Oriented Strand Board*

ODP- *Ozone Depletion Potential*

PAG- Potencial Aquecimento Global

PIR - Poliisocianurato

PRFV - Plástico reforçado com fibra de vidro

PV - Painéis Fotovoltaicos

PVC- Policloreto de vinila

PU - Poliuretano

QR - *Quick Response*

RCD - Resíduos de Construção e Demolição

RJ-SCIE - Regime Jurídico de Segurança contra Incêndios em Edifícios

RTI - *Response Time Index*

SIP - *Structural Integrated Panel*

TVCC - *Television Cultural Center*

USBGC - *US Green Building Council*

UT- Utilização-tipo

WBGC - *World Green Building Council*

XPS - Poliestireno extrudido

### **3. ABREVIATURAS**

Fig.- Figura





# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 ENQUADRAMENTO

A crescente consciencialização dos impactos ambientais da atividade humana tem impulsionado uma mudança significativa na indústria da construção, acompanhada de uma crescente adoção de práticas e técnicas de construção sustentável. Esta tendência, que visa minimizar o impacto ambiental da construção é uma resposta necessária aos desafios globais de sustentabilidade. No entanto, à medida que avançamos na direção da construção de edifícios mais verdes, surge uma questão crucial que merece atenção: *como conciliar os objetivos de sustentabilidade com as preocupações com a segurança contra incêndios?*

A segurança contra incêndio em edifícios (SCIE) sempre foi uma prioridade fundamental na conceção e construção de edifícios, e, uma vez que esta conceção e a própria construção tem vindo progressivamente a ser pressionada para os edifícios se tornarem mais “verdes”, introduzindo novos materiais, técnicas de construção e designs associados à construção sustentável surgem desafios inauditos que exigem uma abordagem cuidadosa, tornando-se crucial compreender os riscos potenciais de incêndio e desenvolver estratégias eficazes para mitigá-los.

### 1.2 MOTIVAÇÃO

O interesse neste tema apresenta relevância tanto para profissionais das áreas de arquitetura e engenharia, como para a sociedade em geral, realçando ainda a escassez de informações relativas à segurança contra incêndios em edifícios sustentáveis, o que poderá resultar em várias consequências negativas.

Desta forma, é decisivo abordar a lacuna de informação neste campo e realizar pesquisas abrangentes que visem desenvolver legislação e regulamentação eficazes de segurança contra incêndios para edifícios sustentáveis, tendo como objetivo a proteção da vida humana, do ambiente e do património.

### 1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO

#### 1.3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho consiste em analisar os métodos e tecnologias sustentáveis existentes de modo a sugerir uma proposta de alteração da legislação com o intuito integrar a sustentabilidade e a SCI.

### 1.3.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Os objetivos específicos desta dissertação são:

- Compreender a evolução da relevância da sustentabilidade na construção e em geral;
- Perceber e analisar os desafios que emergem da integração da sustentabilidade na SCI em comparação com construção tradicional;
- Explorar e estudar os materiais de construção e as tecnologias construtivas mais utilizadas e como estas podem ou não ser vantajosas;
- Analisar práticas sustentáveis e como estas podem trazer benefícios ao combate a incêndios;
- Estudar e avaliar o regulamento português atual e propor mudanças benéficas no que toca à sustentabilidade;
- Examinar um estudo de caso de forma a verificar como é que a sustentabilidade é integrada na SCI atualmente e propor alterações.

### 1.4 METODOLOGIA DO TRABALHO

A metodologia adotada foca-se no desenvolvimento dos seguintes pontos:

1. **Estado da arte:** Foi realizado um estudo para perceber o panorama atual tanto da sustentabilidade, como esta tem vindo a evoluir e a sua crescente importância devido às alterações climáticas e as certificações de sustentabilidade, como da SCI atual, que medidas sustentáveis já foram aplicadas, quais os resultados quanto à SCIE, que perigos estão envolvidos e que soluções foram criadas até agora. Foram examinados pormenorizadamente vários certificados de sustentabilidade como o LEED e o BREEAM.
2. **Estudo de interseções e desafios:** Foram explorados detalhadamente diversos materiais e tecnologias construtivas considerados sustentáveis. Foi explorada a constituição e o funcionamento do material/tecnologia, o porquê do material ou tecnologia ser considerado sustentável e quais são as vantagens que o seu uso traz para o ambiente, os desafios que o uso deste material/tecnologia causa para a SCI, como estes podem ser mitigados e alguns casos de incêndios causados direta ou indiretamente pelo uso do material/tecnologia.
3. **Proposta de alteração da legislação:** Foi feita uma análise à legislação de SCIE que se encontra em vigor em Portugal examinando as suas vantagens e desvantagens e como é que este regulamento se interseja com o aumento das construções sustentáveis. Foi também estudado a abordagem mista, como é que esta funciona noutros países e como poderia ser aplicada em Portugal.
4. **Estudos de caso:** Uma construção foi minuciosamente estudada e caracterizada quanto à SCIE e à sua sustentabilidade, foi avaliada também que tecnologias poderiam ser implementadas de modo a alcançar certificados de sustentabilidade como o LEED.

### 1.5 ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA

A dissertação está organizada segundo os seguintes capítulos

- Capítulo 1- Introdução;
- Capítulo 2- Estado da arte: Sustentabilidade e SCIE;
- Capítulo 3- Interseções e desafios;
- Capítulo 4- Proposta de alteração da legislação;
- Capítulo 5- Estudo de caso;
- Capítulo 6- Conclusões.

O capítulo atual tem como objetivo introduzir o tema da dissertação e contextualizar o leitor sobre a relevância do tema. Explica também como o tema foi explorado e estudado, além da organização do mesmo, para que seja mais fácil e rápida a procura de informação específica.

O segundo capítulo serve o propósito de apresentar e enquadrar os conceitos de sustentabilidade e SCIE na atualidade. No que toca à sustentabilidade é apresentada a sua definição, importância e relevância atual. São explicadas algumas das certificações de sustentabilidade que podem ser atribuídas às construções e como é que estas podem ser alcançadas. Também são apresentadas as vantagens e desvantagens relativas à construção sustentável. Já no conceito de SCIE é explicado o panorama atual e os desafios que a comunidade de SCIE enfrenta para que seja possível integrar a construção sustentável sem comprometer a SCIE. São mencionados vagamente alguns exemplos de tecnologias sustentáveis que serão explorados em capítulos futuros. Também é apresentado um exemplo de como o impacto da sustentabilidade pode ser fatal quando a SCIE é desconsiderada.

O terceiro capítulo é o mais longo pois apresenta algumas das mais utilizadas tecnologias sustentáveis. Os materiais e tecnologias são explicados quanto ao seu funcionamento, são exploradas as suas vantagens quanto à sustentabilidade e as suas desvantagens quanto à segurança contra incêndios. São também propostas medidas de mitigação para estes riscos de incêndio e são apresentados incidentes que já ocorreram devido ao uso da determinada tecnologia. Para além disso são analisadas boas práticas que permitem reduzir o risco de incêndio aquando é utilizada uma construção sustentável.

O quarto capítulo trata de analisar a atual legislação portuguesa de segurança contra incêndios, como esta evoluiu e o que pode ser alterado ou reformulado para que seja viável uma construção sustentável sem correr riscos de comprometer a SCIE.

O quinto capítulo utiliza duas construções reais e descaracterizadas para examinar como a segurança contra incêndios é implementada e como é que atualmente a sustentabilidade é considerada. É analisado o cumprimento do regulamento português de segurança contra incêndios e que elementos sustentáveis podem ter sido utilizados.

O sexto capítulo apresenta as conclusões da dissertação, o que pode ainda vir a ser estudado e que dificuldades é que foram apresentadas no desenvolvimento da mesma.

## 2

### ESTADO DA ARTE

#### 2.1 SUSTENTABILIDADE

Como mencionado anteriormente, a sustentabilidade tem vindo a ganhar cada vez mais relevância na atualidade. Existe uma preocupação crescente com a crise climática, o que tem levado a um aumento progressivo nas medidas a favor da sustentabilidade.

Existem várias definições de “edifícios verdes”, “construção sustentável” e “sustentabilidade”. De acordo com o *World Green Building Council* (WBG), um “edifício verde” é aquele que, durante a fase de projeto, construção ou utilização, reduz ou elimina os impactos negativos, contribuindo para a criação de impactos positivos no ambiente. Os “edifícios verdes” preservam recursos naturais e melhoram a qualidade de vida dos ocupantes [1]. Neste sentido, o conceito de sustentabilidade sugere uma posição intermediária entre a fusão das necessidades futuras e presentes, auxiliando nas diferentes questões que surgem da gestão de longo prazo e de curto prazo de estruturas, organizações e recursos [2]. Assim, a construção sustentável pode ser vista como um projeto que se foca principalmente em equilibrar os aspetos ambientais, económicos e sociais ao longo do ciclo de vida do edifício [3]. A construção sustentável pode também ser definida como um projeto que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades.

##### 2.1.1 CERTIFICAÇÕES

As certificações em edifícios verdes são concedidas para reconhecer e validar práticas de construção sustentável, que têm como objetivo reduzir o impacto ambiental e promover a conservação dos recursos naturais. Existem várias certificações de sustentabilidade disponíveis em todo o mundo, sendo algumas das mais reconhecidas o certificado *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) (Fig. 2.1) e o certificado *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM).



Figura 2.1 Logótipo LEED  
(Fonte: <https://globalroofinggroup.com/blog/what-is-leed-certification>)

A certificação LEED foi desenvolvida pelo arquiteto Bob Berkibile em colaboração com a EPA (*Environmental Protection Agency*) em 1989. Alguns anos depois, em 1993 foi criada a *US Green Building Council* (USBGC), uma organização encarregada de supervisionar o programa de Certificação LEED. Desde então, mais de 100000 edifícios alcançaram a Certificação LEED, demonstrando seu compromisso com a sustentabilidade [4]. Já em Portugal, o primeiro edifício a obter o certificado LEED foi o centro comercial Loureshopping em 2005 e em 2008 o Sonae Maia Business Center, na Maia, foi o primeiro edifício a obter a classificação Gold. Até 2021, em Portugal, foram concedidos 32 certificados LEED, 4 dos quais com o nível Platinum que é o nível mais elevado que se pode obter [5].



Figura 2.2 Sonae Maia Business Center

(Fonte: [https://prudencio.pt/pt/reference\\_works/sonae-maia-business-center/](https://prudencio.pt/pt/reference_works/sonae-maia-business-center/))

O LEED é um dos certificados mais conhecidos globalmente. Há 5 categorias de projetos em que a certificação LEED se aplica: design do edifício e construção, manutenção, design de interiores e construção, desenvolvimento urbano e casas (desenvolvido especificamente para edifícios uni ou multifamiliares com 3 ou menos pisos). Para o propósito desta dissertação será analisado a certificação LEED na categoria de design do edifício e construção. Existem sete categorias de avaliação e os edifícios podem receber diferentes níveis de certificação LEED, como *Certified*, *Silver*, *Gold* ou *Platinum*, dependendo do número de pontos obtidos nas diversas categorias de avaliação. Na Tabela 2.1 é possível verificar detalhadamente quanto é que cada categoria contribui para a obtenção do certificado LEED.

Tabela 2.1 Categorias LEED (Adaptado de: [6])

Categoria	Pontos
Estaleiros sustentáveis	10
Localização e transportes	16
Eficiência hídrica	11
Energia e Atmosfera	33
Materiais e Recursos	13
Qualidade ambiental interna	16
Inovação no Design	6
Prioridade Regional	4
Processo integrador	1
TOTAL	110

A certificação LEED tem alguns pré-requisitos que são necessários cumprir para que o projeto possa ser considerado para obter esta certificação. Estes pré-requisitos existem em apenas algumas das categorias e são apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Pré-requisitos LEED (Adaptado de: [7])

<b>Categoria</b>	<b>Requisito</b>	<b>Pontos</b>	<b>Descrição</b>
Estaleiros sustentáveis	Prevenção da poluição da atividade de construção	Pré-requisito	Destina-se a reduzir a poluição das atividades de construção, controlando a erosão do solo, a sedimentação dos cursos de água e as poeiras transportadas pelo ar.
Eficiência hídrica	Redução do uso de água no exterior	Pré-requisito	Destina-se a reduzir o consumo de água potável no exterior e a preservar os recursos hídricos potáveis de baixo custo.
	Redução do uso de água em ambientes internos	Pré-requisito	Destina-se a reduzir o consumo de água potável no interior e a preservar os recursos hídricos potáveis de baixo custo.
	Medição de água ao nível do edifício	Pré-requisito	Destina-se a conservar os recursos de água potável de baixo custo, a apoiar a gestão da água e a identificar oportunidades de poupança adicional através do controlo do consumo de água.
Energia e Atmosfera	Comissionamento e Verificação fundamentais	Pré-requisito	Destina-se a apoiar a conceção, construção e eventual operação de um projeto que cumpra os requisitos do proprietário em termos de energia, água, qualidade ambiental interior e durabilidade.
	Desempenho energético mínimo	Pré-requisito	Destina-se a promover a resiliência e a reduzir os danos ambientais e económicos da utilização excessiva de energia, alcançando um nível mínimo de eficiência energética para o edifício e os seus sistemas.
	Medição de energia a nível do edifício	Pré-requisito	Destina-se a apoiar a gestão da energia e a identificar oportunidades para poupança de energia adicionais através do acompanhamento da utilização de energia ao nível do edifício.
	Gestão Fundamental de Fluidos Refrigerantes	Pré-requisito	Destina-se a reduzir a destruição da camada de ozono, o potencial de aquecimento global e a apoiar o cumprimento antecipado da Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal, minimizando simultaneamente as contribuições diretas para as alterações climáticas.
Materiais e Recursos	Armazenamento e recolha de materiais recicláveis	Pré-requisito	Destina-se a reduzir a carga desproporcionada dos aterros sanitários e incineradores gerada pelos resíduos dos

<b>Categoria</b>	<b>Requisito</b>	<b>Pontos</b>	<b>Descrição</b>
			ocupantes dos edifícios através da redução, reutilização e reciclagem de serviços.
Qualidade ambiental interna	Desempenho Mínimo da Qualidade do Ar Interior	Pré-requisito	Destina-se a contribuir para o conforto e bem-estar de todos os ocupantes de edifícios, estabelecendo normas mínimas para a qualidade do ar interior.
	Controlo Ambiental do Fumo do Tabaco	Pré-requisito	Destina-se a prevenir ou minimizar a exposição dos ocupantes do edifício, superfícies interiores e sistemas de distribuição de ar de ventilação ao fumo ambiental do tabaco.

Após esta análise dos pré-requisitos, cada categoria possui créditos específicos de sustentabilidade que arrecadam pontos para a atribuição do nível de certificação LEED. A Tabela 2.3 apresenta todos os créditos de cada categoria.

Tabela 2.3 Créditos LEED (Adaptado de: [7])

<b>Categoria</b>	<b>Requisito</b>	<b>Pontos</b>	<b>Descrição</b>
Estaleiros sustentáveis	Avaliação do estaleiro	1	Destina-se a avaliar as condições do local, as preocupações com a justiça ambiental e os fatores culturais e sociais, antes da conceção para avaliar as opções sustentáveis.
	Proteger ou restaurar habitat	2	Destina-se a conservar áreas naturais existentes e a restaurar áreas danificadas para fornecer habitat e promover a biodiversidade.
	<i>Open space</i>	1	Destina-se a criar espaços abertos exteriores que incentivem a interação com o ambiente, a interação social, a recreação passiva e as atividades físicas.
	Gestão das águas pluviais	3	Destina-se a reduzir o volume de escoamento superficial e a melhorar a qualidade da água, simulando a hidrologia natural e o balanço hídrico do local, com base nas condições históricas e nos ecossistemas não desenvolvidos da região, para evitar contribuir para inundações.
	Redução de ilhas de calor	2	Destina-se a minimizar os efeitos nos microclimas e nos habitats humanos, reduzindo o calor.
	Redução da poluição luminosa	1	Destina-se a aumentar o acesso ao céu noturno, a melhorar a visibilidade noturna e a reduzir as consequências do

			desenvolvimento para a vida selvagem e para as pessoas.
Localização e transportes	Proteção de terrenos vulneráveis	1	Destina-se a cultivar a resiliência da comunidade, evitar o desenvolvimento de terrenos ambientalmente sensíveis que fornecem serviços críticos de ecossistema e reduzir o impacto ambiental da localização de um edifício num local.
	Local de alta prioridade e desenvolvimento equitativo	2	Destina-se a desenvolver a vitalidade económica e social das comunidades, incentivar a localização de projetos em áreas com restrições de desenvolvimento e promover a saúde ecológica, cultural e comunitária da área circundante, compreendendo simultaneamente as necessidades e objetivos dos residentes e empresas existentes.
	Densidade envolvente e usos diversificados	5	Destina-se a conservar a terra e a proteger as terras agrícolas e o habitat da vida selvagem, incentivando o desenvolvimento em áreas com infraestruturas existentes. Destina-se também a apoiar as economias locais e de bairro, a promover a facilidade de deslocação a pé e os transportes com baixa ou nenhuma emissão de carbono, e a reduzir a distância percorrida por todos os veículos. Além disso, destina-se a melhorar a saúde pública, incentivando a atividade física diária
	Acesso a transportes de qualidade	5	Destina-se a encorajar o desenvolvimento em locais que demonstrem ter opções de transporte multimodal ou que reduzam a utilização de veículos motorizados, reduzindo assim as emissões de gases com efeito de estufa, a poluição atmosférica e outros danos ambientais e de saúde pública associados à utilização de veículos motorizados.
	Instalações para bicicletas	1	Destina-se a promover o uso da bicicleta e a eficiência dos transportes e a reduzir a distância percorrida pelos veículos. Também se destina a melhorar a saúde pública, incentivando a atividade física utilitária e recreativa.
	Redução da pegada de estacionamento	1	Destina-se a minimizar os danos ambientais associados aos parques de estacionamento, incluindo a dependência do automóvel, o

			consumo de terra e o escoamento das águas pluviais.
	Veículos elétricos	1	Destina-se a reduzir a poluição através da promoção de alternativas aos automóveis movidos a combustíveis convencionais.
Eficiência hídrica	Redução do uso de água no exterior	2	Destina-se a reduzir o consumo de água potável no exterior e a preservar os recursos hídricos potáveis e de baixo custo.
	Redução do uso de água em ambientes internos	6	Destina-se a reduzir o consumo de água potável em interiores e a preservar os recursos hídricos potáveis de baixo custo.
	Otimizar a utilização da água de processo	2	Destina-se a conservar recursos de água potável de baixo custo utilizados para processos mecânicos, controlando simultaneamente a corrosão e o calcário no sistema de água do condensador.
	Medição de água	1	Destina-se a conservar os recursos de água potável de baixo custo, a apoiar a gestão da água e a identificar oportunidades de poupança adicional através do controlo do consumo de água.
Energia e Atmosfera	Comissionamento melhorado	6	Destina-se a apoiar ainda mais a conceção, construção e eventual operação de um projeto que cumpra os requisitos do projeto em termos de energia, água, qualidade ambiental interior e durabilidade.
	Otimizar o desempenho energético	18	Destina-se a alcançar níveis crescentes de desempenho energético para além da norma de pré-requisito para reduzir os danos ambientais e económicos associados à utilização excessiva de energia.
	Medição avançada de energia	1	Destina-se a apoiar a gestão de energia e a identificar oportunidades para poupanças adicionais através do controlo da utilização de energia ao nível do edifício e do sistema.
	Harmonização da rede	2	Destina-se a aumentar a participação em tecnologias que tornam os sistemas de produção e distribuição de energia mais acessíveis e eficientes, aumentam a fiabilidade da rede e reduzem as emissões de gases com efeito de estufa.
	Energia renovável	5	Destina-se a reduzir os danos ambientais e económicos associados à energia proveniente de combustíveis fósseis e a reduzir as emissões de gases com efeito de estufa, aumentando a oferta de projetos de

			energias renováveis e promovendo uma transição justa para uma economia verde.
	Gestão melhorada de fluidos refrigerante	1	Destina-se a eliminar a destruição da camada de ozono e o potencial de aquecimento global e a apoiar o cumprimento antecipado do Protocolo de Montreal, incluindo a Emenda de Kigali, minimizando simultaneamente as contribuições diretas para as alterações climáticas.
Materiais e Recursos	Redução do Impacto do Ciclo de Vida do Edifício	5	Destina-se a incentivar a reutilização adaptativa e a otimizar o desempenho ambiental de produtos e materiais.
	Certificados ambientais de produtos	2	Destina-se a encorajar a utilização de produtos e materiais para os quais existe informação disponível sobre o ciclo de vida e que têm impactos no ciclo de vida preferíveis do ponto de vista ambiental, económico e social. Também se destina a recompensar as equipas de projeto por selecionarem produtos de fabricantes que tenham verificado melhores impactos ambientais do ciclo de vida.
	Aquisição de matérias-primas	2	Destina-se a incentivar a utilização de produtos e materiais para os quais a informação sobre o ciclo de vida está disponível e que têm impactos ambientais, económicos e sociais preferíveis no ciclo de vida. Destina-se também a recompensar as equipas de projeto por selecionarem produtos cuja extração ou origem tenha sido verificada de forma responsável.
	Ingredientes dos materiais	2	Destina-se a encorajar a utilização de produtos e materiais para os quais existe informação disponível sobre o ciclo de vida e que tenham um impacto ambiental, económico e socialmente preferível no ciclo de vida. Também se destina a recompensar as equipas de projeto pela seleção de produtos para os quais os ingredientes químicos do produto são inventariados utilizando uma metodologia aceite e pela seleção de produtos verificados para minimizar o uso e a geração de substâncias nocivas. Além disso, destina-se a recompensar os fabricantes de matérias-

			primas que produzem produtos com impactos melhorados no ciclo de vida.
	Gestão de Resíduos de Construção e Demolição	2	Destina-se a reduzir os resíduos de construção e demolição depositados em aterros e instalações de incineração através da prevenção de resíduos, da reutilização, recuperação e reciclagem de materiais, e da conservação de recursos para as gerações futuras.
Qualidade ambiental interna	Estratégias de melhoria da qualidade do ar interior	2	Destina-se a promover o conforto, o bem-estar e a produtividade dos ocupantes, melhorando a qualidade do ar interior.
	Materiais de baixa emissão	3	Destina-se a reduzir as concentrações de contaminantes químicos que podem prejudicar a qualidade do ar e o ambiente, e a proteger a saúde, a produtividade e o conforto dos instaladores e dos ocupantes dos edifícios.
	Plano de Gestão da Qualidade do Ar Interior na Construção	1	Destina-se a promover o bem-estar dos trabalhadores da construção civil e dos ocupantes dos edifícios, minimizando os problemas de qualidade do ar interior associados à construção e renovação.
	Avaliação da Qualidade do Ar Interior	2	Destina-se a estabelecer uma melhor qualidade do ar interior no edifício após a construção e durante a ocupação para proteger a saúde humana, a produtividade e o bem-estar.
	Conforto Térmico	1	Destina-se a estabelecer uma melhor qualidade do ar interior no edifício após a construção e durante a ocupação para proteger a saúde humana, a produtividade e o bem-estar.
	Iluminação Interior	2	Destina-se a promover a produtividade, o conforto e o bem-estar dos ocupantes, proporcionando uma iluminação de alta qualidade.
	Luz solar	3	Destina-se a ligar os ocupantes do edifício ao exterior, a reforçar os ritmos circadianos e a reduzir a utilização de iluminação

			artificial através da introdução de luz natural no espaço.
	Vistas de qualidade	1	Destina-se a proporcionar aos ocupantes do edifício uma ligação ao ambiente natural exterior, proporcionando vistas de qualidade.
	Desempenho Acústico	1	Destina-se a proporcionar espaços de trabalho e salas de aula que promovam o bem-estar, a produtividade e as comunicações dos ocupantes através de uma conceção acústica eficaz.
Inovação no design	Inovação	5	Destina-se a encorajar os projetos a alcançar um desempenho excecional ou inovador para beneficiar a saúde e a equidade humana e ambiental. Também se destina a promover a experiência LEED ao longo da conceção, construção e operação do edifício e a colaboração para as prioridades do projeto.
	Profissional acreditado LEED	1	Destina-se a incentivar a integração da equipa exigida por um projeto LEED e a simplificar o processo de candidatura e certificação
Prioridade regional	Créditos específicos de prioridades regionais	4	Estes créditos destinam-se a incentivar a obtenção de créditos que abordem prioridades ambientais, de equidade social e de saúde pública geograficamente específicas.
Processo integrador	Processo integrador	1	Destina-se a apoiar resultados de projetos de elevado desempenho, rentáveis e equitativos através de uma análise precoce das inter-relações entre projetos.

No site oficial do USBGC, é possível explorar cada crédito com um maior detalhe se necessário.

Por fim, a Tabela 2.4 apresenta os pontos necessários para alcançar cada nível disponível da certificação LEED.

Tabela 2.4 Níveis do certificado LEED (Adaptado de:[6])

Níveis	Pontos
Certificado LEED	40-49
Nível Silver	50-59
Nível Gold	60-79
Nível Platinum	80+

O BREEAM é um sistema de avaliação de sustentabilidade para edifícios (Fig. 2.3), desenvolvido pelo *Building Research Establishment* (BRE) no Reino Unido. É amplamente utilizado em todo o mundo como uma ferramenta para medir e certificar o desempenho ambiental de edifícios.



Figura 2.3 Categorias avaliadas pelo sistema BREEAM  
(Fonte: <https://www.ecoreal.fi/en/service/breeam-in-use-environmental-classification/>)

Assim como o LEED, o BREEAM também possui categorias de projetos, de avaliação e um sistema de “ranking”.

O BREEAM possui 4 categorias de projetos diferentes, a nova construção, a reabilitação, o “em-uso” e a “comunidades” (semelhante à categoria de desenvolvimento urbano na certificação LEED) [8]. O certificado possui nove categorias de avaliação e uma categoria adicional que tem os créditos da inovação em conta.

Tabela 2.5 Categorias BREEAM (Adaptado de: [9])

Categoria	Porcentagem
Gestão	12,0%
Água	7,0%
Energia	15,0%
Transporte	9,0%
Saúde e Bem-Estar	15,0%
Uso da terra e ecologia	10,0%
Poluição	10,0%
Materiais	13,5%
Desperdício	8,5%
<b>TOTAL</b>	<b>100,00%</b>
Inovação (adicional)	10,00%

O sistema BREEAM atribui uma pontuação aos edifícios com base no seu desempenho em cada categoria, permitindo que recebam diferentes níveis de certificação, como *Pass*, *Good*, *Very Good*, *Excellent* ou *Outstanding*, dependendo do número de pontos obtidos.

Tabela 2.6 Níveis de pontuação do BREEAM (Adaptado de: [8])

Níveis	Pontos
Outstanding	≥85
Excellent	≥70
Very good	≥55
Good	≥45
Pass	≥30
Unclassified	<30

A análise BREEAM é mais completa do que a análise LEED, visto que apenas 3% dos créditos não são explorados na análise BREEAM, enquanto 14% dos créditos não são explorados pelo LEED e os restantes 83% dos créditos são explorados por ambas as análises [9].

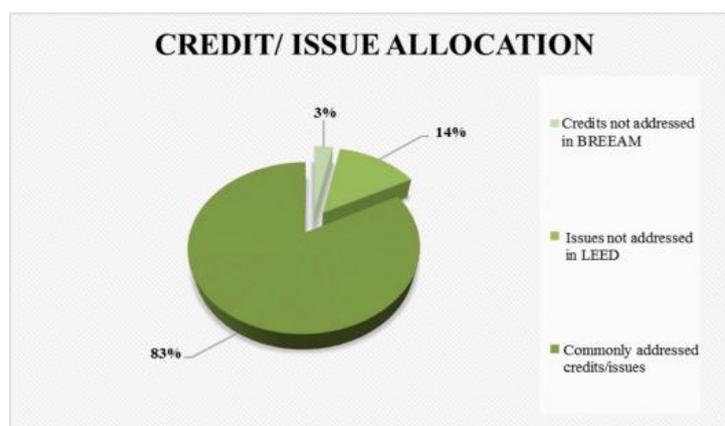


Figura 2.4 Créditos BREEAM e LEED (Fonte: [9])

Comparando os dois sistemas é possível concluir que o sistema BREEAM é o sistema mais exigente devido à sua maior variedade de créditos, o que leva a que os mesmos edifícios possuam um resultado melhor no sistema LEED do que no sistema BREEAM. No entanto, as diferenças dos resultados não são muito significativas e no máximo correspondem a um nível de diferença nos certificados [9]. O estudo de caso explorado no capítulo 5 desta dissertação, utilizará o método LEED, pela sua maior simplicidade e facilidade de compreensão, sendo que os seus créditos possuem uma explicação mais sucinta e explícita.

Em Portugal, também existem certificações e selos específicos para edifícios sustentáveis. O Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) é obrigatório para todos os edifícios novos e existentes em Portugal, atribuindo uma classificação energética aos edifícios com base no seu desempenho em termos de eficiência energética e qualidade do ar interior. O sistema LiderA desenvolvido pela ADENE – Agência para a Energia (Fig. 2.5), é uma metodologia de avaliação da sustentabilidade global de edifícios, que inclui critérios ambientais, económicos, sociais e culturais. Este sistema é usado para avaliar e certificar edifícios sustentáveis em Portugal.

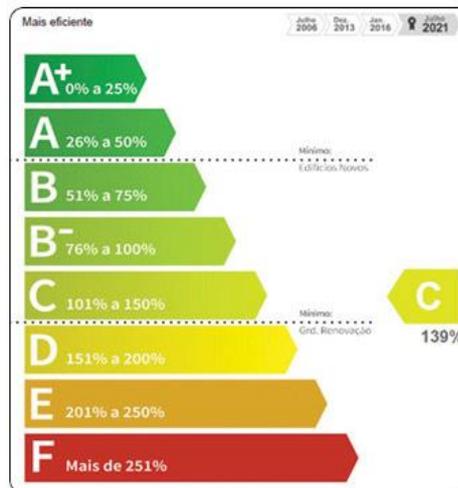


Figura 2.5 Classificação da ADENE

(Fonte: <https://www.deco.proteste.pt/dinheiro/comprar-vender-casa/noticias/certificado-energetico-que-e-onde-pedir-qual-preco>)

A integração de práticas sustentáveis na construção é uma abordagem essencial para enfrentar os desafios ambientais e económicos do nosso tempo. Com a adoção de medidas que reduzem a pegada ecológica, os edifícios sustentáveis não apenas minimizam o impacto negativo sobre o ambiente, mas também contribuem ativamente para a conservação dos recursos naturais.

Além dos benefícios ambientais óbvios, a construção sustentável oferece uma série de vantagens económicas a longo prazo. Embora o investimento inicial em tecnologias e materiais sustentáveis seja mais elevado, em comparação à construção tradicional, os custos operacionais reduzidos ao longo da vida útil do edifício compensam esse gasto inicial. Deste modo, a eficiência energética resulta em poupanças significativas nos custos de energia ao longo do tempo, proporcionando um retorno financeiro tangível para os investidores e proprietários de edifícios. A utilização de materiais duráveis e de baixa manutenção reduz os custos de reabilitação, resultando em poupanças adicionais ao longo do ciclo de vida do edifício.

No entanto, os benefícios da sustentabilidade na construção vão além das considerações ambientais e económicas. À medida que a consciencialização sobre questões ambientais cresce, os consumidores e clientes tornam-se cada vez mais exigentes em relação aos produtos e serviços que adquirem. Nesse sentido, os edifícios sustentáveis têm um forte apelo aos clientes, que valorizam não apenas os benefícios ambientais, mas também os económicos a longo prazo proporcionadas pelo uso de tecnologias e materiais sustentáveis na construção.

Concluindo, a sustentabilidade na construção não é apenas uma questão de responsabilidade ambiental, mas também uma estratégia inteligente para garantir a viabilidade a longo prazo dos edifícios e o sucesso dos empreendimentos imobiliários.

Apesar dos impactos positivos da construção sustentável, ainda existem várias dificuldades para que esta seja implementada como um novo modelo de construção; tais dificuldades como:

- Baixa procura de construção sustentável por parte de clientes devido ao seu preço e custo inicial elevado. O custo estimado para a construção sustentável varia entre 1 a 25% mais do

que a construção convencional [10], enquanto materiais de construção sustentáveis custam 3 a 4% mais que os materiais tradicionais[11];

- Falta de medidas governamentais que apoiem a construção sustentável;
- Falta de legislação apropriada.

Para além das dificuldades gerais referidas, a equipa de gestão de projeto também enfrenta obstáculos como a falta de informação sobre materiais sustentáveis, longos processos burocráticos e desconhecimento de novas técnicas construtivas por parte dos trabalhadores [12].

Portugal tem vindo a adotar medidas e políticas para mitigar o impacto ambiental e promover o desenvolvimento urbano responsável. Um exemplo notável é o sistema de certificação energética, que avalia e classifica a eficiência energética dos edifícios, fornecendo aos consumidores informações claras sobre o desempenho energético das construções.

Além disso, Portugal tem adotado regulamentações ambientais rigorosas relacionadas à construção. Por exemplo, normas para a gestão de resíduos de construção e demolição (RCD) são implementadas para promover a reciclagem e reutilização de materiais, minimizando o desperdício e os impactos ambientais associados à construção.

Outro exemplo são os incentivos financeiros oferecidos pelo governo português para construções sustentáveis. Subsídios e créditos fiscais são concedidos para projetos que incorporam tecnologias e práticas sustentáveis, como o programa “Vale Eficiência”. Este programa que consiste num conjunto de medidas que visam combater a pobreza energética e reforçar a renovação dos edifícios a nível nacional. O programa possibilita o aumento do desempenho energético e ambiental dos mesmos, melhora o conforto térmico e as condições de habitabilidade, saúde e bem-estar das famílias. Além disso, contribui para a redução da fatura energética e da pegada ecológica [13].

## 2.2 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIO

A comunidade de SCIE enfrenta agora o desafio de se adaptar aos novos perigos introduzidos pela construção sustentável.

A complexidade dos materiais sustentáveis pode resultar em consequências involuntárias, como o aumento da carga combustível. Ao nível dos materiais, por exemplo, o calor de combustão dos novos polímeros utilizados na construção sustentável é significativamente maior do que o dos materiais tradicionalmente usados. Num ambiente moderno, estes materiais sintéticos têm um *flashover* de 2 a 4 minutos, em comparação com materiais não sintéticos, que têm um *flashover* de 14 a 20 minutos. O desenvolvimento deste novo potencial perigo levanta a questão: *como consideramos a substituição destes materiais e como poderiam ser definidos como 'seguros'?* [14].

Há várias alternativas sustentáveis que, sem uma análise profunda de SCIE, podem contribuir para o aumento do perigo de incêndio, tais como: fontes alternativas de energia, painéis fotovoltaicos ou as coberturas verdes. Estas últimas, coberturas verdes e os painéis fotovoltaicos, cada vez mais comuns em edifícios sustentáveis, representam avanços significativos no campo da construção ecológica. No entanto, é crucial reconhecer que, embora essas tecnologias ofereçam benefícios ambientais e económicos substanciais, também apresentam desafios específicos em situações de incêndio que requerem consideração cuidadosa.

Em primeiro lugar, as coberturas verdes, com a sua vegetação e substratos associados, podem atuar como um combustível adicional em caso de incêndio. Embora sejam valorizadas pela sua capacidade de absorver e reter água, o que pode ajudar a atrasar a propagação do fogo, esses materiais orgânicos podem

eventualmente tornar-se combustíveis, alimentando as chamas e aumentando a carga de incêndio. Além disso, a questão da integridade estrutural também surge, uma vez que a água retida nas plantas pode adicionar peso considerável à cobertura, potencialmente comprometendo a sua estabilidade durante um incêndio e aumentando o risco de colapso.

Por outro lado, os painéis fotovoltaicos, embora sejam uma fonte vital de energia limpa e renovável, apresentam os seus próprios desafios em termos de segurança durante um incêndio. A produção contínua de eletricidade pelos painéis, mesmo sob condições de incêndio, representa um risco significativo de choque elétrico para os bombeiros, complicando os esforços de combate ao incêndio e aumentando o perigo para aqueles que estão na linha de frente. Além disso, a desativação dos sistemas fotovoltaicos pode ser uma tarefa difícil e demorada, prolongando ainda mais o tempo necessário para controlar o incêndio e potencialmente aumentando os danos ao edifício e principalmente à vida humana.

Por vezes, pode ser uma melhor opção investir mais recursos na instalação de dispositivos de SCIE como, por exemplo, os *sprinklers*. Os *sprinklers* controlam o incêndio, ajudam a reduzir os custos de reparação e eliminam a necessidade de reconstruir estruturas na sua integridade. O seu uso elimina não apenas a quantidade de material desperdiçado que é depositado em aterros, mas também elimina a necessidade de novos materiais para a reconstrução do edificado.

Um exemplo de alteração sustentável que resultou num incêndio devastador é o da torre Grenfell, que foi tão impactante que levou à alteração dos regulamentos de SCIE existentes em Inglaterra.

A torre Grenfell situada em North Kensington, Londres, é um edifício residencial com um total de 24 pisos e 127 apartamentos. Construído na década de 70, a sua fachada originalmente consistia em painéis pré-fabricados de betão. No entanto, com o objetivo de tornar o edifício mais eficiente energeticamente, este passou por uma renovação da fachada (Fig. 2.6). A nova fachada tornou-se uma fachada ventilada, com painéis compósitos de alumínio com polietileno de 3mm, um caixa de ar de 50 mm e uma camada de 150 mm de espuma de *poliisocianurato* (PIR), revestida por folha de alumínio, que foi fixada aos painéis existentes de betão pré-fabricado.



Figura 2.6 Antes e depois da reabilitação da fachada

(Fonte: <https://www.theguardian.com/uk-news/2018/jun/05/dangerous-building-works-turned-grenfell-tower-death-trap-inquiry>)

A 14 de julho de 2017, um ano após esta renovação, a torre Grenfell sofreu um incêndio que teve origem no quarto andar, mas que rapidamente se propagou por todo o edifício, causando 72 mortes, vários feridos e destruindo por completo o edifício.

Entre as inúmeras razões apontadas para a magnitude do incêndio, como a falta de um sistema de *sprinklers*, alarmes de incêndio inoperacionais e apenas uma caixa de escadas de emergência, a razão mais proeminente para o avanço acelerado do incêndio encontra-se na composição da fachada implementada na recente renovação [15] .

Questões como a caixa de ar utilizada possuir o dobro da largura considerada aceitável, a utilização de uma superfície combustível para proteger o isolamento, o uso do PIR que é um material altamente inflamável, contribuíram para o resultado catastrófico.

A existência de uma caixa de ar entre duas camadas de materiais combustíveis conferiu a oportunidade para a propagação rápida do fogo verticalmente, afetando rapidamente todos os seus pisos (Fig. 2.7).



Figura 2.7 Resultado da torre Grenfell após o incêndio

(Fonte: [https://www.rtp.pt/noticias/mundo/incendio-na-torre-grenfell-comecou-num-frigorifico\\_n1010002](https://www.rtp.pt/noticias/mundo/incendio-na-torre-grenfell-comecou-num-frigorifico_n1010002))

Em conclusão, pode-se deduzir que a medida implementada para um aumento da sustentabilidade causou um terrível desastre, fundamentalmente pela perda de vidas humanas, mas também causou danos ambientais com a produção de CO<sub>2</sub> durante o incêndio, o uso de recursos para o apagar e deixando uma “carcaça” de um edifício sem qualquer hipótese de reutilização dos materiais, fundamentando a questão de que não é viável introduzir a sustentabilidade sem esta estar regulamentada quanto à SCI.

É possível que um único evento de incêndio possa anular vários, se não todos, os elementos de construção sustentável. As consequências ambientais de um incêndio incluem fumos tóxicos, emissões de gases de efeito estufa, consumo de água para o controlo do incêndio, escoamento de águas residuais, depósito de resíduos sólidos em aterros sanitários e custos embutidos de carbono para substituir materiais danificados.

Os edifícios contribuem com mais de 70% das emissões de CO<sub>2</sub>, três vezes mais do que os carros produzem, e foi demonstrado que as emissões de CO<sub>2</sub> ao longo do ciclo de vida de um edifício podem aumentar entre 2 e 14% se ocorrer um incêndio e subsequente reconstrução.

Uma mudança em direção ao design verde pode resultar em aumento de incêndios, mortes, lesões e danos à propriedade se a SCIE for sacrificada em nome da sustentabilidade.

Em Portugal, a legislação de SCIE em edifícios é abordada pelo Regime Jurídico de Segurança contra Incêndios em Edifícios (RJ-SCIE), que foi estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de novembro [16], na sua atual redação dada pelo Decreto-Lei 9/2021 de 29 de janeiro [17] e pela Lei 123/2019 de 18 de outubro [18] e pela Portaria nº1532/2008, de 29 de dezembro [19]. A regulamentação

portuguesa é fundamentalmente prescritiva, ou seja, prescreve os requisitos a serem seguidos de maneira bastante específica, sem deixar margem para interpretação ou flexibilidade significativa.

A regulamentação prescritiva não consegue acompanhar a evolução das tecnologias e materiais sustentáveis na construção, visto que apenas se rege pelas regras existentes. A regulamentação baseada no desempenho, em que o projetista define medidas para alcançar o nível de segurança desejado, através do princípio da engenharia de segurança, mostra-se mais adequada para a adaptação da sustentabilidade na SCI sendo que, como se poderá verificar à frente, muitos dos materiais sustentáveis não cumprem com os requisitos da regulamentação prescritiva.

O *design*, a segurança e a sustentabilidade devem ser integrados. Engenheiros SCI devem ser chamados no início das etapas de *design* de um projeto, não depois que os atributos sustentáveis já foram projetados. Os engenheiros de SCI podem ajudar os proprietários de edifícios a trabalharem em direção aos seus objetivos sustentáveis, ao mesmo tempo em que fornecem um edifício seguro. [14]

A comunidade de SCI fez, e continua a fazer um esforço para entender e mitigar incêndios em projetos sustentáveis. A comunidade de construção sustentável pode e tem contribuído, mas ainda não abraçou totalmente a SCI como parte inerente da sustentabilidade.[20]



# 3

## INTERSEÇÕES E DESAFIOS

### 3.1 DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS NA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

#### 3.1.1 INTRODUÇÃO

Como foi apresentado anteriormente, muitos elementos construtivos sustentáveis apresentam desafios para a SCIE. Para a escolha de quais materiais e tecnologias estudar, teve de ser analisado o perigo potencial de incêndio de cada elemento. Também foi tido em conta a popularidade e o crescente uso do material e/ou tecnologia em Portugal e o número de incidentes reportados com o material/tecnologia.

Segue-se a apresentação de um estudo no qual são referidos:

- Como funciona cada solução;
- Que vantagens possui quanto à sustentabilidade;
- Quais os riscos de incêndio que apresentam;
- Como é que se pode mitigar esses mesmos riscos;
- Exemplos de incêndios em que a solução foi uma das principais causas.

#### 3.1.2 MATERIAIS E TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS

A *Fire Protection Research Foundation*, publicou o segundo volume de um relatório denominado “*Fire Safety Challenges of Green Buildings*” e desenvolvido por Brian Meacham, Brandon Poole, Juan Echeverria e Raymond Cheng, que apresenta uma análise do risco potencial de incêndio de vários elementos considerados sustentáveis (Tabela 3.1) [21].

Tabela 3.1 Tabela de risco de incêndio (Adaptado de: [20])

Material/Sistema/Atributo	Perigo	Nível de risco	Estratégias de mitigação
<b>Materiais e sistemas exteriores</b>			
Structural integrated panels (SIP)	No caso de falha, pode contribuir para propagação das chamas, produção de fumo e aumento da carga de incêndio	Alto	Materiais aprovados. Garantir a vedação adequada dos painéis. Tomar cuidado durante a instalação com potenciais fontes de ignição.
Sistemas exterior de isolamento e acabamento	No caso de falha, pode contribuir para propagação das chamas, produção de fumo e aumento da carga de incêndio	Alto	Materiais aprovados. Garantir a vedação adequada dos painéis. Tomar cuidado durante a instalação com potenciais fontes de ignição.
Placas de espuma isolante	Pode contribuir para a propagação das chamas, produção de fumo e produtos tóxicos e aumento da carga de incêndio	Alto	Barreira resistente ao fogo. Materiais aprovados. Retardadores de chama. Sprinklers.
Espuma em spray isolante	Pode contribuir para a propagação das chamas, produção de fumo e produtos tóxicos e aumento da carga de incêndio	Alto	Barreira resistente ao fogo. Materiais aprovados. Retardadores de chama. Sprinklers.
Sistemas de filme de isolamento	Pode contribuir para a propagação de chamas e aumento da carga de incêndio	Alto	Barreira resistente ao fogo. Materiais aprovados. Sprinklers.
Vidros de alto desempenho	Pode mudar as características térmicas do compartimento e prejudicar o acesso dos bombeiros	Moderado	Sprinklers. Acessos adequados. Garantir um mecanismo de ventilação. Materiais aprovados.
Revestimento reflexivo e de baixa emissividade	Pode mudar as características térmicas do compartimento e prejudicar o acesso dos bombeiros	Moderado	Sprinklers. Acessos adequados. Garantir um mecanismo de ventilação. Materiais aprovados.
Fachada ventilada	Pode mudar as características térmicas do compartimento e prejudicar o acesso dos bombeiros. Pode apresentar o efeito de chaminé para a propagação de chamas e fumo.	Moderado	Corta-fogo entre pisos. Sprinklers. Garantir um mecanismo de ventilação. Materiais aprovados.
Bamboo, outras fibras de celulose	Pode contribuir para propagação das chamas, produção de fumo e aumento da carga de incêndio	Moderado	Materiais aprovados. Retardadores de chama. Sprinklers
Biopolímeros, FRP ( <i>fibre reinforced polymers</i> )	Pode contribuir para propagação das chamas, produção de fumo e aumento da carga de incêndio	Baixo	Materiais aprovados. Retardadores de chama. Sprinklers
Coberturas verdes	Pode contribuir para o aumento da carga de incêndio, propagação das chamas, prejudicar o acesso dos bombeiros, complicar a ventilação do fumo e calor, contribuir para problemas de estabilidade.	Moderado	Controlar o risco de incêndio da vegetação. Garantir o uso de componentes testadas para o fogo. Assegurar o acesso dos bombeiros. Garantir um mecanismo de ventilação. Materiais aprovados.
Captação de águas pluviais em PVC	Pode contribuir para o aumento da carga de incêndio	Baixo	Limitar o volume
Caminhos de cabos exteriores	Pode contribuir para o aumento da carga de incêndio	Baixo	Limitar o volume. Materiais aprovados.
<b>Atributos de Fachada</b>			
Área do vidro	Pode partir e contribuir para a propagação das chamas.	Moderado	
Área de material combustível	Uma maior área (volume) contribui para o aumento da carga de incêndio	Alto	Limitar o volume
Toldos	Prejudica o acesso dos bombeiros	Baixo	
Cobertura vegetal externa	Pode prejudicar o acesso dos bombeiros e apresentar problemas com a incêndios florestais junto às casas	Baixo	Limitar o volume

Analisando a Tabela 3.1, é possível observar que o risco potencial de incêndio mais elevado se concentra nos produtos de isolamento térmico e acústico, sendo também importante analisar tecnologias como coberturas/fachadas verdes e fachadas ventiladas devido ao seu uso crescente. As estratégias de mitigação de risco que encontramos neste relatório são muitas vezes o uso de materiais aprovados (marcação CE), uso de sprinklers e assegurar um mecanismo de ventilação apropriado. Outro material que não é mencionado, mas que deve ser analisado é o uso de estruturas e revestimentos de madeira, visto que esta tem vindo a apresentar cada vez mais relevância no que toca a materiais sustentáveis.

### 3.1.3 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Os painéis fotovoltaicos (PV) oferecem uma série de benefícios, tanto para o utilizador como para o meio ambiente. Os PV, como convertem a luz solar em eletricidade, permitem que o detentor do painel gere a sua própria energia, poupando assim na sua conta da energia ao longo do tempo. Do ponto de vista económico, os painéis conferem mais vantagens como a valorização imobiliária, do que a propriedade ganha com a instalação dos painéis e os incentivos fiscais e financeiros que o governo português atualmente oferece para soluções sustentáveis em casos específicos. Numa perspetiva sustentável, as vantagens são a redução da pegada de carbono, visto que a energia solar é uma energia

renovável e que não emite poluentes atmosféricos durante a geração de eletricidade ajudando assim a reduzir as emissões de gases de efeitos de estufa. Para além disso, os sistemas fotovoltaicos requerem pouca manutenção e têm uma vida útil longa.

Os PV tratam-se de grupos de células fotovoltaicas montadas entre camadas de silício e são uma das tecnologias sustentáveis mais usadas para gerar energia [22]. A energia fotovoltaica é produzida pelas células presentes nos PV, convertendo a radiação solar para eletricidade em corrente contínua (Fig. 3.1). Esta energia produzida, pode ser utilizada para alimentar equipamentos, carregar baterias ou injetar energia para a rede elétrica, utilizando um inversor que converte a energia em corrente contínua para corrente alternada [23]. O encapsulante EVA, etileno acetato de vinila (*Ethylene Vinyl Acetate*), é aplicado nas células fotovoltaicas para protegê-las contra impactos, humidade e outros elementos ambientais, além de garantir a aderência entre as células, o vidro frontal e o material de suporte posterior do painel solar. Este material é transparente, flexível, resistente à degradação causada pela exposição aos raios ultravioleta e possui boas propriedades de isolamento elétrico. Isso ajuda a garantir a durabilidade e a eficiência dos painéis solares ao longo do tempo.

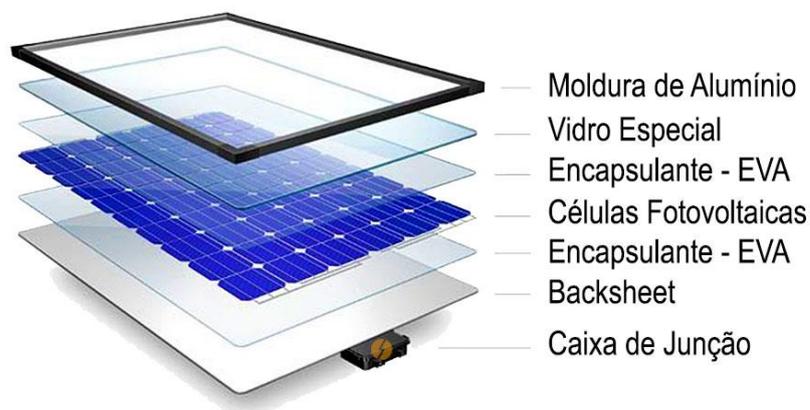


Figura 3.1 Composição de um PV (Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/passos-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>)

Anteriormente, foi mencionado o facto de os PV serem uma das tecnologias sustentáveis que apresentam adversidades na sua integração na SCIE. Os PV apresentam riscos de incêndio como:

- Os painéis não se desligam automaticamente;
- Possibilidade de incêndios elétricos por curto-circuito;
- A dificuldade de acesso, por parte das forças de socorro, devido à sua localização (normalmente instalados na cobertura do edifício) (Fig. 3.2);
- Acumulação de calor em espaços sem ventilação [24];
- Os PV ocupam a maior parte da cobertura, permitindo pouca ventilação, extração de fumo e aumentando o peso morto do edifício;
- Na eventualidade de um incêndio, produtos químicos serão derramados pelos painéis aumentando a carga de incêndio e criando um maior risco para os bombeiros [23];
- Se os painéis fotovoltaicos forem instalados nas fachadas o risco de quebra de vidros é maior.



Figura 3.2 PV na cobertura

(Fonte: <https://www.portal-energia.com/guia-pratico-comprar-paineis-solares-fotovoltaicos>)

Para mitigar o risco de incêndio existem já algumas opções viáveis a seguir, como por exemplo:

- O sistema de interrupção de energia deve ser devidamente sinalizado, bem como todos os edifícios que usem fontes de energia alternativas para que as forças de socorro estejam devidamente preparadas;
- Aplicação de materiais com marcação CE ou homologados de modo a apenas usar materiais que tenham sido testados e aprovados de acordo com as normas;
- Criação de barreiras entre os PV e outros materiais combustíveis [25];
- Para a colocação de novos sistemas, deve ter-se em conta a carga adicional dos painéis durante o cálculo estrutural;
- Se os painéis cobrirem a maior parte da cobertura, deve ser considerada durante a fase de planeamento a salvaguarda de um espaço dedicado a claraboias (desenfumagem passiva) ou ventiladores (desenfumagem ativa) com uma margem sem equipamentos PV, para que o fumo produzido durante um eventual incêndio possa sair.

#### 3.1.3.1 Exemplos de incidentes

Em abril de 2009, em Bakersfield California, um incêndio deflagrou-se na platibanda da cobertura de um grande estabelecimento de venda. A loja tinha 1826 módulos de PV e o incêndio teve início em dois locais devido a um problema relacionado com a ligação à terra (o fio-terra tem como função, entre outras, escoar o excesso de carga e energia oferecendo proteção). À semelhança desta ocorrência, em abril de 2011, no Mount Holly, Carolina do Norte, houve um incêndio na cobertura de uma empresa fabricante de gesso cartonado, também devido a um problema do fio-terra. [26]

Já em setembro de 2013, em Delanco, New Jersey, um incêndio ocorreu num armazém de comidas frias de aproximadamente 28000 m<sup>2</sup> com mais de 7000 módulos de painéis fotovoltaicos que cobriam a maior parte da cobertura do edifício (fig. 3.4). Os painéis não foram a causa do incêndio, mas, devido à sua disposição ampla, impediram os bombeiros de controlar e combater o incêndio. William Kramer, o oficial bombeiro superior de New Jersey afirmou “*Existe a possibilidade de choque elétrico, porque não é possível desligar os painéis*”, relatando também que “*Podemos muito bem não ser capazes de salvar edifícios que tenham energia alternativa*” [27].

No final, o fogo demorou mais de 24 horas a ser suprimir e o edifício foi completamente destruído, bem como todos os seus conteúdos (Fig. 3.3).



Figura 3.3 Incêndio de Delanco, NJ

(Fonte: [https://www.nj.com/burlington/2013/09/dietz\\_and\\_watson\\_warehouse\\_fire\\_solar\\_panels\\_make\\_battling\\_blaze\\_much\\_harder\\_officials\\_say.html](https://www.nj.com/burlington/2013/09/dietz_and_watson_warehouse_fire_solar_panels_make_battling_blaze_much_harder_officials_say.html))

#### 3.1.4 COBERTURAS E FACHADAS VERDES

Atualmente, as coberturas representam cerca de 20 a 25% da superfície total das áreas urbanas [28]. Assim, a criação de coberturas verdes tem um grande potencial para melhorar o ambiente urbano. As coberturas verdes, também conhecidas como *green roofs*, são capazes de proporcionar vários benefícios em termos estéticos e ambientais, por exemplo a redução das emissões de gases de efeito estufa, poluição do ar e os efeitos de ilhas de calor urbano em áreas densamente povoadas. Outros benefícios apontados são: a minimização dos riscos de inundação ao reter a água em excesso e a melhoria da qualidade da água na cidade. Existem alguns estudos que comprovam que as coberturas verdes absorvem alguns poluentes, no entanto podem poluir a água devido aos fertilizantes e plantas [29]. A altura do substrato mostrou-se diretamente proporcional à capacidade de retenção de poluentes devido à sua maior quantidade de matéria orgânica. Para além disso, também existe interesse nas coberturas verdes devido ao seu desempenho térmico, visto que o fluxo de calor pode ser reduzido em aproximadamente 80% através do uso das coberturas verde, reduzindo assim o consumo anual de energia [30]. As fachadas verdes não são tão comuns como as coberturas, no entanto, os benefícios são muito semelhantes.

A composição de uma cobertura verde consiste em vários componentes, começando pela parte de cima tem a vegetação; o substrato, que consiste numa mistura de solo, areia e outros materiais orgânicos para fornecerem uma base adequada para o crescimento das plantas; o material drenante; a barreira para impedir o crescimento de raízes; a membrana à prova de água, uma camada de isolamento e a camada estrutural (Fig. 3.4) [28].



Figura 3.4 Composição de uma cobertura verde (Fonte:[18])

Existem três tipos de coberturas verdes:

- Extensivo: implica uma baixa manutenção, baixo custo e o substrato encontra-se normalmente entre os 6 e 20 cm, e pesa entre 60 e 150 kg/m<sup>2</sup>
- Semi-intensivo: A sua manutenção deve ser periódica, tem um custo intermédio, o substrato encontra-se entre os 12 e 25 cm e pesa de 120 a 200 kg/m<sup>2</sup>
- Intensivo: Requer uma alta manutenção, com uma rega regular. Possui entre 15 a 40 cm de substrato e pode pesar entre 180 a 500 kg/m<sup>2</sup>. Pode ter vegetação como arbustos e árvores e tem um custo elevado.

Quanto à composição de uma fachada verde o sistema atual usa uma placa plástica impermeabilizante que é fixada com perfis metálicos na parede existente, é seguida por um material com duas camadas de feltro especial onde a vegetação cresce sem necessitar de solo, na base possui uma calha coletora para acolher a água da rega da vegetação (Fig. 3.5) [29].

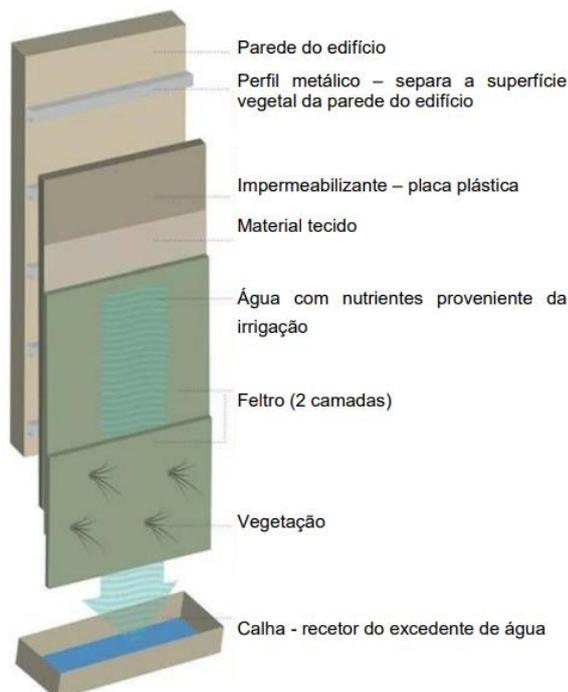


Figura 3.5 Composição de uma fachada verde (Fonte: [20])

Conhecidos os benefícios e o funcionamento das coberturas e fachadas verdes, apresenta-se agora os seus riscos quanto à SCIE:

- Aumenta a carga sobre o telhado. Quando calculada, deve-se ter em conta a carga adicional na estrutura proveniente do uso de coberturas verdes;
- A vegetação, quando não cuidada, pode aumentar a carga de incêndio e a propagação do incêndio;
- As coberturas verdes têm normalmente uma dificuldade acrescida de acesso;
- Existe um impacto prejudicial na desenfumagem e calor das coberturas verdes, devido ao facto de “prender” o calor na cobertura impedindo-o de se libertar.

Algumas das sugestões para mitigar os riscos de incêndio são:

- Deve ser criado um caminho claro e desimpedido para acomodar os bombeiros e o seu equipamento, esses caminhos devem ser concebidos de materiais não combustíveis[23];
- A vegetação deve possuir uma manutenção regular e cuidada;
- Devem ser projetados caminhos de desenfumagem;
- Devem ser aplicados apenas materiais com marcação CE ou homologados.

#### 3.1.4.1 Exemplos de incidentes

Até à data atual não existem grandes incidentes de incêndios em coberturas ou fachadas verdes, no entanto, existiram pequenos fogos que requereram ajuda dos bombeiros.

Em 2018, aconteceram 3 pequenos incêndios em Portland, Londres (Fig. 3.6) e Montreal que se iniciaram devido a faíscas provenientes de um cigarro que incendiaram a vegetação seca.

No incêndio de Montreal, a causa do incêndio foi uma ponta de cigarro num vaso, e o incêndio propagou-se por todo o deck e para uma parede adjacente. Felizmente, em todos os casos, os incêndios foram extintos pelos bombeiros e não houve grandes danos à propriedade [31].



Figura 3.6 Incêndio de Portland, Londres  
(Fonte: <https://livingarchitecturemonitor.com/articles/green-roofs-fire-su21>)

### 3.1.5 FACHADAS VENTILADAS

As fachadas ventiladas, como muitos dos elementos já ou futuramente mencionados, possui benefícios relacionados com a eficiência energética e o conforto térmico. As fachadas ventiladas oferecem uma camada de isolamento adicional ao edifício, reduzindo a transferência de calor entre o exterior e o interior e resultando numa poupança energética. Para além disso, as fachadas ventiladas também fornecem uma maior proteção contra a humidade, devido à circulação de ar entre a parede exterior e o revestimento e oferecem uma maior durabilidade pois protegem a parede exterior de exposição a fatores como água, vento e radiação solar.

Estas fachadas são constituídas por várias camadas que incluem uma parede de suporte, geralmente composta por betão armado ou alvenaria, sobre a qual é aplicada uma camada de isolamento térmico, normalmente de materiais como poliestireno expandido (EPS), lã mineral ou poliuretano. Entre esta camada de isolamento e o revestimento exterior, é criada uma camada de ar pela utilização de fixações especiais que afastam o revestimento da parede de suporte. O revestimento exterior pode ser constituído por diversos materiais, como cerâmica, pedra, metal ou compósitos de alumínio, proporcionando proteção contra as condições climáticas e permitindo uma ampla diversidade estética. A circulação de ar na câmara de ventilação contribui para a dissipação do calor acumulado na parede externa, reduzindo a transferência térmica para o interior do edifício.

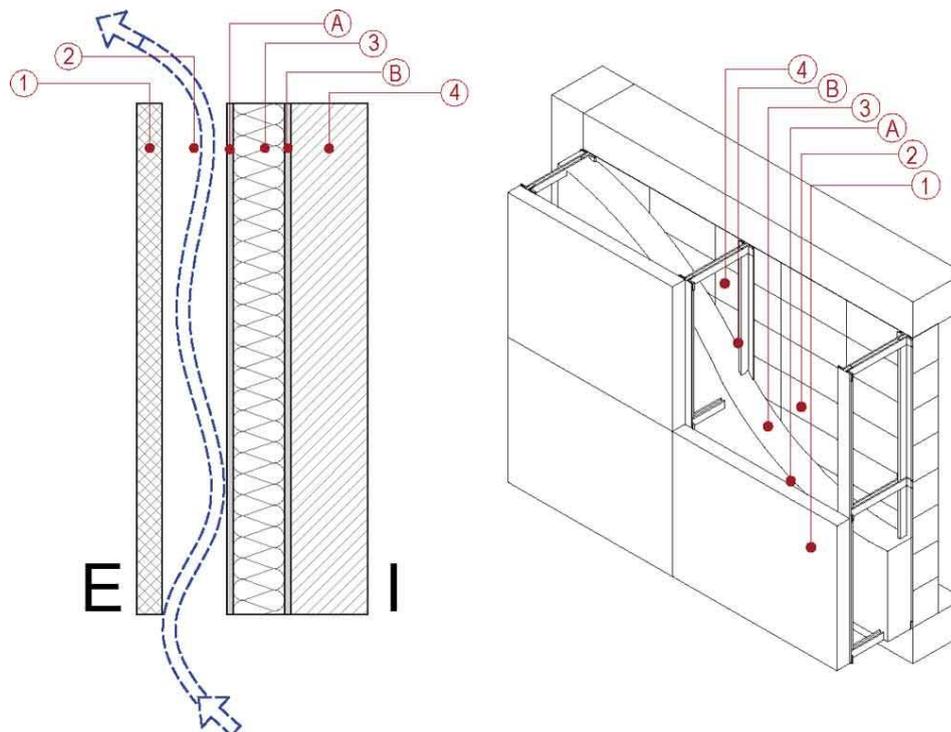


Figura 3.7 Composição de uma fachada ventilada

(Fonte: [https://beyondsustainablearchitecture.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/08/5-5-fv-esquema-de-sistema-constructivo\\_.jpg](https://beyondsustainablearchitecture.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/08/5-5-fv-esquema-de-sistema-constructivo_.jpg))

Os riscos que envolvem as fachadas ventiladas baseiam-se praticamente na sua caixa de ar. A existência da câmara de ventilação nas fachadas ventiladas facilita a propagação do incêndio devido à circulação de ar entre a parede exterior do edifício e o revestimento. Durante o incêndio, a circulação de ar fornece oxigénio adicional às chamas, alimentando-as e permitindo que se propaguem mais rapidamente ao longo da fachada, fazendo com que o incêndio possa rapidamente propagar-se por todos os pisos. Além disso, o calor gerado pelo incêndio pode criar um efeito de chaminé na câmara de ventilação, onde o ar

quente sobe e é substituído por ar mais frio na base, aumentando a intensidade das chamas e acelerando sua propagação. A presença da câmara de ventilação também permite uma transferência de calor mais eficiente da parede exterior para o revestimento, aquecendo rapidamente os materiais do revestimento e facilitando sua ignição e propagação do incêndio. Adicionalmente, a câmara de ventilação pode aumentar a área exposta ao fogo, especialmente se houver detritos acumulados ou materiais inflamáveis presentes na câmara, aumentando a superfície de combustão disponível e contribuindo para a propagação do incêndio ao longo da fachada. Em conjunto, esses fatores tornam a câmara de ventilação um elemento que favorece a rápida disseminação das chamas ao longo da fachada, representando um risco significativo para a segurança do edifício e de seus ocupantes em caso de incêndio.

Existe também uma dificuldade acrescida para o combate ao incêndio devido à forma como as chamas se propagam, possivelmente impedindo a entrada dos bombeiros pelos vãos existentes na fachada.

Para mitigar os riscos de incêndio devesse:

- Promover o uso de *sprinklers* no interior de edifícios de grande altura;
- Usar materiais com marcação CE ou homologados;
- Implementar barreiras corta-fogo dentro da câmara de ventilação para impedir a propagação do fogo entre pisos através da fachada.

Existe um estudo em que foi testada a possibilidade de controlar o fumo numa fachada ventilada, para isso foram feitas aberturas, estrategicamente posicionadas, para controlar o fluxo do ar. Considerando a semelhança do fluxo do ar e da ventilação natural por convecção, este estudo examinou a possibilidade de utilizar a ventilação natural de uma fachada ventilada para o controlo de fumo. De acordo com os resultados das análises e das experiências, quando as aberturas entre o exterior e o átrio têm uma área total de 16 m<sup>2</sup> (2 m<sup>2</sup> em cada piso), a pressão na câmara de ventilação torna-se maior do que a do átrio em qualquer altura do espaço ocupado. Apesar de existirem aberturas entre o espaço ocupado e o espaço da câmara de ventilação para a ventilação natural, a propagação de fumos será impedida. Além disso, é possível obter um fluxo de ar preferencial no espaço ocupado, mesmo no último piso, sob tais condições de abertura. A possibilidade de utilizar o sistema de ventilação natural de uma fachada ventilada para o controlo de fumos foi confirmada. [32]

#### 3.1.5.1 Exemplos de incidentes

O fogo de fevereiro de 2024 em Sevilha, embora recente, uma das causas apontadas para a rápida propagação do fogo foi a sua fachada ventilada.

Inicialmente a causa apontada para a propagação do fogo foi a utilização de espuma de poliuretano que é um material inflamável, no entanto, o uso deste material não foi confirmado. Jerónimo Alonso, o porta-voz do Conselho Geral de Arquitetura Técnica de Espanha, afirma que “a câmara ventilada provocou um efeito chaminé” [33]. Este efeito, fez com que as chamas originadas no 4º andar deste edifício, em menos de 30 minutos se alastrassem a todo o prédio. Várias testemunhas alegam que viram placas metálicas soltarem-se e revelarem o que parecia ser um material altamente inflamável, possivelmente o isolamento.



Figura 3.8 Incêndio de Valencia (Fonte: <https://pt.euronews.com/2024/02/23/porque-e-que-o-incendio-de-valencia-devorou-138-casas-numa-hora>)

Incêndios como este não costumam apresentar apenas uma causa, mas sim uma combinação de causas, principalmente a câmara de ventilação que facilita a propagação do incêndio e os materiais utilizados no isolamento, que são altamente inflamáveis.

### 3.1.6 ESTRUTURAS E REVESTIMENTOS DE MADEIRA

O uso da madeira oferece diversos benefícios em termos de sustentabilidade. Primeiramente, a madeira é uma fonte de recurso renovável, cuja produção pode ser continuamente regenerada através de práticas florestais adequadas. Além disso, durante o seu crescimento, as árvores absorvem dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da atmosfera, retendo-o e atuando como um “*carbon sink*”. Comparativamente a outros materiais de construção, como o betão e o aço, a produção de madeira consome menos energia e emite menos gases de efeito estufa, resultando numa pegada de carbono significativamente menor ao longo do ciclo de vida do material. Adicionalmente, a madeira é altamente reciclável e pode ser reutilizada de várias maneiras, reduzindo assim a necessidade de novos materiais e minimizando o desperdício. A certificação florestal, como o *Forest Stewardship Council* (FSC), garante que a madeira utilizada em projetos de construção é proveniente de fontes geridas de forma responsável, promovendo a conservação da biodiversidade e a gestão sustentável dos recursos florestais.

Os revestimentos em madeira podem ser aplicados tanto no pavimento, como nas paredes e tetos.

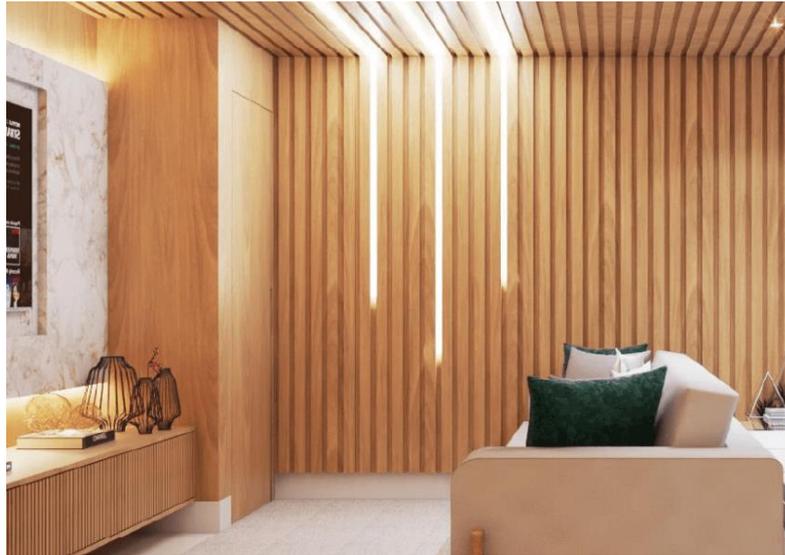


Figura 3.9 Revestimento de parede em madeira  
(Fonte:<https://www.ladecora.com.br/2019/10/25/paineis-de-madeira-ideias-e-dicas-de-como-utilizar/>)

Existem muitos tipos de madeira e muitas formas de aplicar e usar este material, pode ser usado LVL (*Laminated veneer lumber*), CLT (*Cross laminated timber*), OSB (*Oriented strand board*), Glulam, entre outros.

O LVL, madeira laminada colada, consiste em camadas de madeira coladas juntas sob pressão. O LVL oferece alta resistência e é usado em vigas, pilares e outros elementos estruturais. Este também pode ser usado em paletes de madeira e estruturas de móveis.



Figura 3.10 LVL (Fonte:<https://fomexgroup.vn/plywood-news/what-is-lvl-how-is-it-made-and-the-application-of-lvl.html>)

O CLT, compensado laminado cruzado, é um produto de madeira que consiste em camadas de madeira seca em estufa orientadas em ângulos retos entre si e depois coladas para formar painéis estruturais. Ao colar camadas de madeira em ângulos retos, o painel proporciona uma excelente rigidez estrutural em ambas as direções [34].

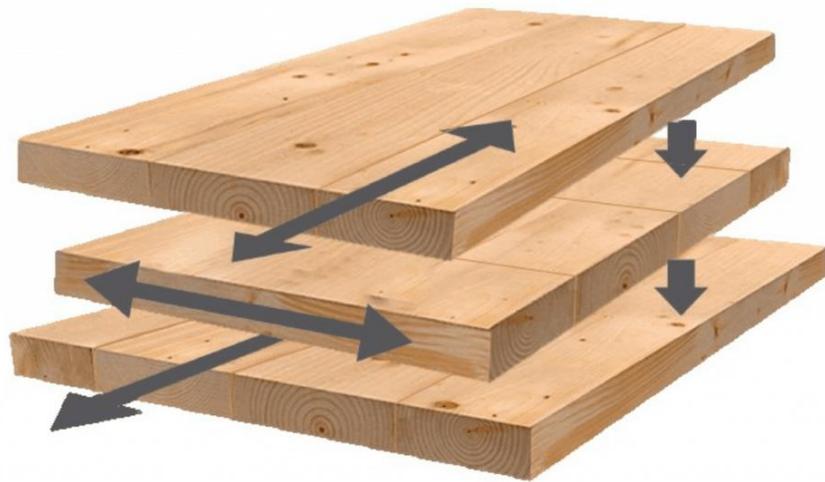


Figura 3.11 CLT

(Fonte: <https://ztc.lv/en/prefabricated-wood-houses/cls-wood-house/>)

O Glulam é composto por camadas de madeira (ou "lâminas") ligadas entre si por colas duradouras e resistentes à humidade. O veio de todas as lamelas é paralelo ao comprimento do elemento de madeira [35].



Figura 3.12 Estrutura de Glulam

(Fonte: <https://structurecraft.com/materials/engineered-wood/glulam>)

O OSB é um painel de madeira versátil e muito utilizado, fabricado com colas à prova de água submetidas a tratamento térmico e fios de madeira de forma retangular dispostos em camadas cruzadas. A sua resistência e desempenho são semelhantes aos do contraplacado, resistindo à deflexão, deformação e distorção [36].



Figura 3.13 OSB

(Fonte: <https://www.ladenburger.de/index.php/en/wood-engineering/zugeschnitten-2/osb-platten>)

Cada tipo de material possui suas próprias características de durabilidade, aparência e custo.

Os revestimentos em madeira são geralmente duráveis e fáceis de manter. No entanto, a durabilidade pode variar dependendo do tipo de madeira e acabamento. Alguns revestimentos em madeira podem ser mais propensos a arranhões e desgaste do que outros, e a manutenção adequada, como limpeza regular e aplicação de produtos de proteção, pode ajudar a preservar a aparência e integridade do revestimento ao longo do tempo. Estes conferem excelentes propriedades de isolamento térmico e acústico, ajudando a manter a temperatura interna confortável e reduzindo a transmissão de ruído entre os ambientes.

A madeira também é frequentemente utilizada como material de estrutura no contexto da pré-fabricação visto que se trata de um material leve, o que facilita o seu transporte e manuseamento, sendo simultaneamente um material bastante resistente.



Figura 3.14 Estrutura pré-fabricada

(Fonte: <https://www.casaprefabricada.org/casas-pre-fabricadas-de-madeira-usadas/>)

Para além das características anteriormente referidas, a madeira, quando adequadamente protegida contra a humidade, fungos xilófagos, sol, chuva e vento, apresenta uma grande longevidade e resistência à deterioração ao longo dos anos. Tratamentos de preservação como a aplicação de vernizes, tintas e tratamentos químicos, auxiliam a prolongar a vida útil da madeira. Ao contrário do betão e do aço, a madeira é considerada um material bastante versátil, sendo possível aos projetistas e arquitetos criar *designs* mais criativos e arrojados.

O uso da madeira pode apresentar vários riscos de incêndio, especialmente em ambientes onde a SCIE não é adequadamente implementada. Os riscos associados ao uso da madeira são:

- material combustível e pode pegar fogo facilmente quando exposta a chamas diretas, faíscas ou altas temperaturas;
- aumenta a carga de incêndio do edifício;
- Quando usada estruturalmente, existe a questão da estabilidade do edifício na eventualidade de um incêndio, visto que a madeira é muito mais instável num incêndio do que a alternativa tradicional (betão);
- A madeira corre o risco de se poder delaminar.

Atualmente, já existem estudos que comprovam que com medidas preventivas e mitigadoras, o uso de madeira como material estrutural já seria considerado seguro segundo as normas atuais (Eurocódigos) [37].

As medidas mitigadoras são, por exemplo:

- O tratamento da madeira com vernizes ou tintas retardadoras de chama ou outros produtos químicos ignífugos para aumentar sua resistência ao fogo;
- Isolamento de áreas de risco mantendo áreas onde a madeira é utilizada separadas de outras áreas sensíveis, como salas elétricas ou depósitos de produtos inflamáveis;
- Criação de barreira para evitar a propagação do incêndio;
- Uso de *sprinklers*;
- Aplicação de materiais com marcação CE ou homologados;
- Conformidade regulatória.

#### 3.1.6.1 Exemplos de incidentes

Em abril de 2022, em Camarillo, Califórnia, ocorreu um incêndio num hotel. O hotel, ainda em construção, tinha as estruturas de madeira expostas a todos os elementos exteriores durante a construção. Não houve mortes ou feridos e não foi possível identificar o que causou o incêndio [38].



Figura 3.15 Incêndio na Califórnia  
(Fonte: <https://www.enr.com/articles/53944-blaze-destroys-wood-framed-hotel-project-in-california>)

### 3.1.7 SISTEMA ETICS

O sistema ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems*), conhecido como “capoto” em linguagem corrente, confere grandes vantagens quanto à sustentabilidade e também quanto à economia pessoal do utilizador.

Este sistema, aplicado nas paredes exteriores, apresenta benefícios como o isolamento térmico que através da sua camada de isolamento impede perdas de calor no inverno e a entrada de calor no verão, reduzindo custos de energia associados à regulação da temperatura interna através de outros métodos. Apresenta outros benefícios, como o conforto acústico e a poupança energética.

O sistema ETICS é composto por diversas camadas interligadas para proporcionar isolamento térmico e proteção ao edifício. As camadas típicas deste sistema incluem (Fig. 3.16):

- Argamassa de colagem;
- Isolamento térmico, geralmente constituído por materiais como poliestireno expandido (EPS), poliestireno extrudido (XPS), lã de rocha ou lã de vidro;
- Argamassa de regularização com uma malha de fibra de vidro para garantir aderência e resistência;
- Primário como base para o revestimento final para reforçar a estrutura e prevenir fissuras;
- Revestimento final, que pode ser composto por reboco, pintura texturizada, placas de revestimento cerâmico ou outros materiais, proporcionando proteção e acabamento estético ao sistema.

Este conjunto de camadas trabalha de forma integrada para melhorar a eficiência energética do edifício.

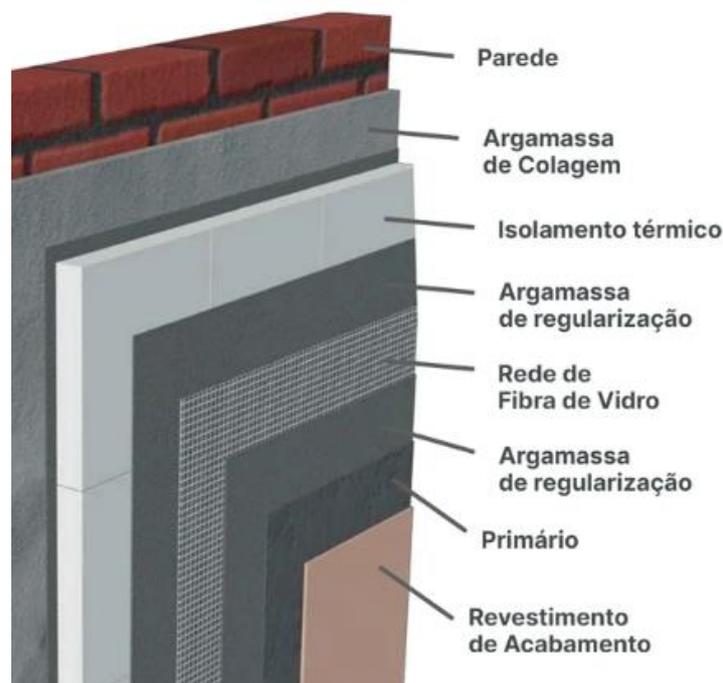


Figura 3.16 Composição de um sistema ETICS  
(Fonte: <https://blog.odem.pt/precos-do-revestimento-etics-o-que-os-influencia>)

O sistema ETICS apresenta um risco alto de incêndio, sendo que os perigos incluem:

- Aumento da carga de incêndio devido ao isolamento;
- Facilidade na propagação, em caso de falha do encapsulamento do isolamento.

Para mitigar os riscos é sugerido:

- A aplicação de materiais com marcação CE ou homologados;
- Ter especial cuidado durante o período de instalação do sistema com possíveis fontes de ignição;
- Ter atenção e seguir as recomendações do fabricante quando à espessura e aplicação do isolamento
- Criação de barreiras para evitar a propagação do fogo.

#### 3.1.7.1 Exemplos de incidentes

O já mencionado incêndio de Grenfell é um dos exemplos de incêndios causados devido ao isolamento térmico aplicado na fachada, onde morreram 72 pessoas. Outro exemplo de um incêndio devastador é o incêndio de 2010 em Shanghai. Decorriam obras neste edifício residencial quando no décimo andar do edifício deflagrou um incêndio que acabou por consumir todo o prédio. Pelo menos 58 pessoas morreram e mais de 120 ficaram feridas neste incêndio. Foi estabelecido que o incêndio foi causado por faíscas de soldagem que atingiram o isolamento que ainda se encontrava desprotegido. O incêndio demorou mais de 4 horas para ser contido e foram requisitados vários helicópteros para ajudar ao resgate, no entanto estes não conseguiram assistir devido ao fumo. Os bombeiros não conseguiam atuar sobre o incêndio nos últimos andares devido à altura do edifício (cerca de 85 metros), o que fez a população questionar pela falta de existência de *sprinklers* num edifício de grande altura (Fig. 3.17) [39].



Figura 3.17 Incêndio de Shangai

(Fonte: <https://www.nbcnews.com/slideshow/news/fire-ravages-shanghai-skyscraper-40196455>)

Outro exemplo, é o incêndio do centro cultural de televisão de Pequim (TVCC) de 2009. Este arranha céus concebido pelo famoso arquiteto Rem Koolhaas, possuía diferentes utilizações, como um hotel, um teatro e vários estúdios. Durante os festejos do ano novo chinês foram lançados fogos de artifício do topo do edifício. Os fogos atingiram a cobertura, que ainda estava em construção e rapidamente deflagrou-se o incêndio. O incêndio espalhou-se para os pisos inferiores através do isolamento exterior, devido aos ventos. Os fumos tóxicos e a falta de *sprinklers* foram algumas das causas de prejudicaram a contenção do incêndio (Fig. 3.18).

Após a investigação foi apurado que o revestimento usado para proteger o isolamento era um material muito suscetível ao fogo, embora tenha sido indevidamente aprovado e constasse na lista de materiais.



Figura 3.18 Incêndio do TVCC

(Fonte: [https://onewaystreet.typepad.com/one\\_way\\_street/2009/02/as-the-tvcc-smolders.html](https://onewaystreet.typepad.com/one_way_street/2009/02/as-the-tvcc-smolders.html))

Apesar do aspeto (Fig. 3.18), apenas a parte externa do edifício ficou danificada e os trabalhos de substituição do isolamento demoraram cerca de 2 anos.

### 3.1.8 PAINÉIS SANDWICH

Os painéis *sandwich* são muito usados na construção civil atualmente. Os painéis são bastante sustentáveis devido ao seu excelente isolamento térmico. Os edifícios construídos com painéis *sandwich* requerem menos energia para aquecimento e arrefecimento. Isso reduz o consumo de energia ao longo do tempo, diminuindo a pegada de carbono associada à gestão dos edifícios. Muitos fabricantes de painéis *sandwich* oferecem opções com materiais sustentáveis, como isolamento feito de materiais reciclados ou renováveis. Além disso, os painéis podem ser produzidos com materiais de baixo impacto ambiental, como aço reciclado ou madeira certificada. Os painéis *sandwich* são frequentemente fabricados por medida, o que reduz o desperdício de materiais durante o processo de construção. Além disso, eles podem ser desmontados e reciclados no final de sua vida útil, minimizando a quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários.

Devido à sua leveza os painéis *sandwich* normalmente requerem menos viagens de transporte durante a construção o que leva à redução das emissões de gases de efeito estufa associadas ao transporte de materiais de construção.



Figura 3.19 Painéis *sandwich*  
(Fonte: <https://thermal.pt/portfolio/d/painel-andwich/>)

Os painéis são compostos por 3 camadas:

- Camada exterior: uso de materiais como metal (aço galvanizado, alumínio ou aço inoxidável), madeira, plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV) ou materiais compostos. Esta camada oferece resistência mecânica, proteção contra fatores ambientais e suporte estrutural;
- Camada de isolamento: uso de materiais de isolamento térmico, como poliuretano (PU), poliestireno expandido (EPS), poliisocianurato (PIR), lã mineral, ou lã de rocha. Esta camada é responsável por minimizar a transferência de calor entre o interior e o exterior do edifício, proporcionando eficiência energética;
- Camada interior: À semelhança da camada exterior, faz uso do mesmo tipo de material e oferece suporte estrutural adicional e proteção.



Figura 3.20 Painéis sandwich de diferentes materiais  
(Fonte: <https://www.airesalmeida.com/index.php/produtos>)

Tal como outros sistemas de isolamento, o principal risco de incêndio é o uso de um material isolante combustível. O material de isolamento ajuda à propagação do incêndio e frequentemente emite gases tóxicos e muito fumo. Devido à sua construção multicamada alguns tipos de painéis *sandwich* podem dificultar o combate ao incêndio. Para além disso, se as camadas externas dos painéis *sandwich* forem comprometidas pelo calor do incêndio, pode ocorrer uma perda de integridade estrutural, o que pode levar ao colapso parcial ou total da estrutura do edifício, aumentando o risco para as pessoas dentro e ao redor do edifício.

Existem várias medidas que podem ser adotadas para mitigar os riscos associados aos painéis sandwich:

- Utilizar apenas materiais com marcação CE ou homologados e propor o uso de materiais de isolamento com classificações adequadas de reação ao fogo, como lã de rocha, que possuem propriedades de retardamento de chama e baixa emissão de gases tóxicos;
- Instalar sistemas de proteção contra incêndios nas camadas externas dos painéis, como revestimentos intumescentes ou materiais de revestimento resistentes ao fogo, para retardar a propagação das chamas e proteger a integridade estrutural dos painéis;
- Garantir uma selagem adequada das juntas entre os painéis para evitar a propagação do fogo e do fumo entre compartimentos.

### 3.1.9 OUTROS ISOLAMENTOS

Os *structural integrated panels* (SIP) são um sistema de construção de elevado desempenho para construção residencial e comercial ligeira. Os painéis são constituídos por um núcleo de espuma isolante colocado entre dois revestimentos estruturais, normalmente OSB (*oriented strand board*). É considerado um sistema de construção extremamente forte e eficiente em termos energéticos e económicos.

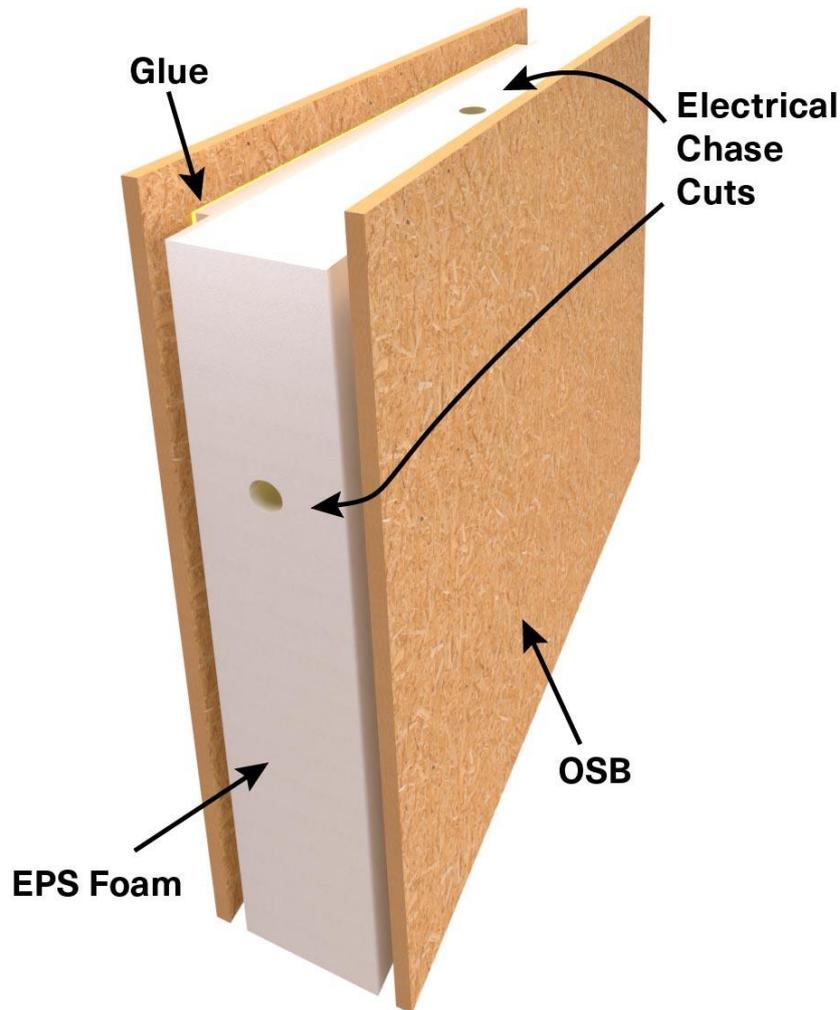


Figura 3.21 Composição de um SIP  
(Fonte: <https://acmepanel.com/>)

Após a instalação, os painéis SIP proporcionam isolamento e estanquidade ao ar, o que reduz os custos energéticos ao longo da vida útil do edifício. Sabe-se que os SIP são cerca de 50% mais eficientes em termos energéticos do que as estruturas de madeira tradicionais. [40]

Os SIP são altamente eficientes em termos energéticos e, por conseguinte, contribuem positivamente para o ambiente, reduzindo os níveis de CO<sub>2</sub>. Utilizam também muito menos energia durante o processo de fabricação em comparação com os métodos de construção tradicionais como o aço, o betão e a alvenaria.

Devido ao seu peso e à sua facilidade de montagem são reduzidos os custos de mão de obra, andaimes e gestão de projetos.

Embora os SIP ofereçam muitas vantagens, também apresentam alguns riscos de incêndio como:

- Aumento da carga de incêndio devido ao uso de materiais combustíveis;
- O incêndio pode comprometer a integridade estrutural dos SIP, levando a colapsos ou danos significativos à estrutura da construção;
- Com a falha, o isolamento pode contribuir para a propagação do incêndio;
- A construção com SIP torna mais desafiador para os bombeiros extinguirem o fogo devido à natureza do material e à forma como são construídos;

Para mitigar estes riscos é necessário:

- Os SIP devem ser tratados com retardadores de fogo para reduzir a sua combustibilidade;
- Assegurar a selagem adequada dos painéis;
- Durante a instalação especial cuidado com passagem de instalações técnicas junto a fontes de ignição[25];
- Aplicação de materiais com marcação CE ou homologado;
- Instalar barreiras de fogo adequadas entre os SIP e outras áreas da estrutura para impedir a propagação do fogo.

### 3.2 BOAS PRÁTICAS DE PROMOÇÃO DA INTEGRAÇÃO DA SCIE NA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

Atualmente ainda existem poucas práticas que incorporem a sustentabilidade na SCIE. Com a constante evolução tecnológica e intelectual no campo da engenharia espera-se um aumento de práticas sustentáveis que incorporem a SCIE. No entanto, já existem algumas práticas usadas na atualidade.

#### 3.2.1 SPRINKLERS

Antes de apresentar os benefícios e o porquê de o uso de *sprinklers* poder ser considerado uma “boa prática”, deve ser explicado o que são os *sprinklers*, como funcionam e que tipos de *sprinklers* existem.

*O que são os sprinklers?*

Os *sprinklers* são, segundo a norma NP 3874-4 de 1994, “um dispositivo sensível ao calor, concebido para reagir a uma temperatura pré-determinada, libertando automaticamente um fluxo de água repartido uniformemente, ao nível do solo, com forma, quantidade e área a irrigar devidamente especificadas” [41]. O sistema de *sprinklers* é composto por: uma reserva de agente extintor, um sistema de bombagem e conexões e tubagens que levam aos *sprinklers* [42]. Os *sprinklers* em si são constituídos por: um defletor (que ajuda à propagação da água); o corpo que oferece suporte; a rosca de fixação para ligar à rede de tubagem; um dispositivo de deteção podendo ser uma ampola ou um termofusível; um orifício de descarga e o sistema de vedação [43] (Fig. 3.22).



Figura 3.22 Composição de um sprinkler

(Fonte: [http://www.skop.com.br/wp-content/uploads/2018/09/Palestra-Skop-DGST\\_CBMERJ-Sprinkler\\_Sistema\\_Produto\\_Norma\\_Certifica----o-Rev-2.pdf](http://www.skop.com.br/wp-content/uploads/2018/09/Palestra-Skop-DGST_CBMERJ-Sprinkler_Sistema_Produto_Norma_Certifica----o-Rev-2.pdf))

Dependendo do tipo de instalação, alguns destes elementos podem não existir.

*Que tipos de sprinklers existem?*

Os *sprinklers* podem ser categorizados segundo várias características que possuem, como o elemento termossensível, o coeficiente de descarga “K”, o tempo de resposta, a área de cobertura, entre outros [44].

Quanto ao elemento termossensível, sabemos que pode ser de dois tipos:

- Ampola de vidro – Esta contém um líquido com uma elevada capacidade de expansão que quando atinge uma temperatura pré-determinada, aumenta de volume e provoca a quebra da ampola, permitindo assim a circulação da água através do orifício. As ampolas podem ser de várias cores dependendo da temperatura a que quebram. A cor corresponde à cor do líquido inserido dentro da ampola [45];



Figura 3.23 - Funcionamento de uma ampola de vidro (Fonte: [43])

- Termofusível: O termofusível é uma peça feita de uma liga metálica com baixo ponto de fusão. Ele permanece fechado por duas alavancas soldadas. Quando a temperatura aumenta, as soldas das alavancas derretem, permitindo que o termofusível se abra e que a água possa fluir. Em certos casos, em vez de usar duas alavancas, é usada uma única alavanca feita de uma liga fusível. Essa alavanca é presa num cilindro por uma esfera de aço inoxidável. Quando a liga fusível derrete, a esfera desloca-se para dentro do cilindro, libertando o termofusível. Uma mola então liberta a alavanca, afastando todas as peças móveis do caminho da água. Tal como as ampolas, também existem várias cores para indicar a sua temperatura de funcionamento. A cor é marcada no corpo do *sprinkler*.



Figura 3.24 *Sprinkler* de fusível térmico  
(Fonte: <https://www.menhaifire.com/pt/esfr-product/>)

Tabela 3.2 Código de cores de acordo com a temperatura de funcionamento (Fonte: [43] Retirado diretamente)

Sprinklers de ampola		Sprinklers termo fusível	
Temperatura nominal de operação °C	Código de cor líquido	Temperatura nominal de operação °C	Código de cores dos braços do defletor
57	Laranja 	57 a 77	Incolor
68	Vermelho 	80 a 107	Branco ○
79	Amarelo 	121 a 149	Azul ●
93, 100	Verde 	163 a 191	Vermelho ●
121, 141	Azul 	204 a 246	Verde ●
163, 182	Malva 	260 a 302	Laranja ●
204, 227, 260, 286, 343	Preto 	320 a 343	Preto ●

No que toca ao coeficiente de descarga “K”, este faz a relação entre o caudal (Q [L/min]) e a pressão (P [bar]) com que o *sprinkler* efetua o escoamento como se pode observar na equação (1).

$$K = \frac{Q}{\sqrt{P}} \quad (1)$$

As classes de risco mais elevadas exigem que os *sprinklers* possuam um coeficiente de descarga também elevado [44].

O tempo de resposta corresponde à velocidade com que o elemento sensível aciona dada a temperatura de funcionamento. O índice tempo de resposta ou *Response Time Index* (RTI), consiste num valor que permite classificar o tempo de resposta em duas categorias:

- *Sprinkler* de resposta rápida (*Fast response*): RTI < 50;
- *Sprinkler* de resposta normal (*Standart response*): RTI < 80.

Dentro da categoria de resposta rápida existem três tipos de *sprinklers*:

- *Quick Response* (QR), são utilizados em situações que requerem uma resposta rápida;
- *Early Supression Fast Response* (ESFR), projetados para libertar grandes quantidades de água em curtos períodos;
- Residenciais, foram concebidos para salvaguardar a vida no compartimento onde se originou o fogo. [44]

Quanto à área de cobertura, existem três tipos de *sprinklers*:

- Cobertura Normal: Estes são os *sprinklers* mais utilizados devido à sua eficácia comprovada em uma ampla gama de aplicações e riscos associados. Eles são instalados de acordo com as especificações de limitação de área de cobertura e podem ser montados em várias orientações.
- Cobertura Alargada: Estes *sprinklers* cobrem uma área maior e podem reduzir o uso de material e o custo da mão de obra, já que não é necessário instalar tantos aspersores. No entanto, ao

reduzir o número de *sprinklers* necessários, a pressão e o fluxo de água na rede aumentam. Isso pode levar a um comprometimento dos custos de instalação. Os *sprinklers* de cobertura alargada também podem ser instalados em várias orientações.

- *Old Style*: Estes *sprinklers* são usados em condições especiais. Eles pulverizam a água de uma maneira diferente: metade da água é projetada para cima e a outra metade para baixo. Geralmente, esse tipo de *sprinkler* é usado em orientações verticais. [44]



Figura 3.25 Cobertura alargada vs. Cobertura normal (Fonte: <https://www.linkedin.com/pulse/por-que-utilizar-sprinklers-de-cobertura-estendida-santos/>)

Quanto ao sistema em si, podem ser usados vários tipos de extintores como gás inerte e pó químico, mas a água, seja pulverizada ou nebulizada, é o tipo de extintor mais utilizado.

#### 3.2.1.1 Vantagens e Desvantagens

O uso de *sprinklers* apresenta vantagens como:

- Supressão rápida/controlada do incêndio, resultando em menos calor e fumaça gerados;
- Detecção e alarme para os ocupantes do edifício, além de extinguir incêndios;
- Menor perigo para os bombeiros e ocupantes do edifício;
- Medida de compensação eficaz para edifícios que não estão em conformidade com os regulamentos;
- Redução dos danos aos bens materiais e ao próprio edifício;
- Redução dos prêmios de seguro devido à diminuição do risco;
- Eliminação da necessidade de intervenção humana;
- Uso de menos água em comparação com a quantidade que os bombeiros usariam para extinguir o mesmo incêndio. [44]

Embora o uso de *sprinklers* seja considerado uma boa prática, este possui também algumas desvantagens com:

- Ativação acidental resultando em falsos alarmes e possíveis danos;
- Custos de instalação consideráveis;
- Possibilidade de falhas no sistema, embora a probabilidade seja baixa;
- Necessidade de vários equipamentos ocupando espaço significativo no edifício;
- Não é uma solução universal para todos os tipos de incêndios;

- Requer manutenção regular, o que pode ser um problema para aqueles com recursos limitados para a manutenção do sistema. [44]

Foi realizado um estudo para comprovar a eficácia do uso de *sprinklers* comparando edifícios com e sem *sprinklers*.

A experiência foi realizada em instalações residenciais para avaliar o risco que apresentam à vida humana. Cenários típicos de incêndios domésticos, como incêndios na sala de estar, no quarto e na cozinha, foram investigados nesta série de experiências.

Tabela 3.3 Incêndio numa sala de estar com e sem *sprinklers* (Adaptado de: [46])

Variável	Sem <i>Sprinklers</i>	<i>Sprinklers</i>
Pico de temperatura	Mais de 400°C	125°C
Pico de monóxido de carbono (CO)	30000 ppm	700 ppm
Oxigénio mínimo	2%	19%
Pico de HCN	200 ppm	Muito baixo
Pico de HCl	250 ppm	Muito baixo
Pico de obstrução da visibilidade pelo fumo	Mais de 5 OD/m	Mais de 5 OD/m

Analisando a Tabela 3.3, verificamos uma melhoria substancial com o uso de *sprinklers* na temperatura máxima atingida, no pico de monóxido de carbono (CO), nos níveis de oxigénio mínimos e nas quantidades máximas de cianeto de hidrogénio (HCN) e de ácido clorídrico (HCl). O cianeto de hidrogénio é um dos gases tóxicos que é libertado durante um incêndio, este provem do uso de materiais sintéticos à base de petróleo, que, quando aquecidos, libertam este gás [47]. O *National Institute for Occupational Safety & Health* (NIOSH), determinou que a exposição a 50 ppm de HCN é o suficiente para deixar o utilizador desorientado fazendo com que não consiga orientar-se numa situação de perigo.

O HCN é frequentemente apelidado de “*silent killer*”, é 35 vezes mais tóxico que o CO e ataca o coração e o cérebro, podendo causar ataques cardíacos e podendo causar comportamentos irracionais. Apenas 300 ppm de HCN podem causar uma morte imediata [48]. Denominados de “*toxic twins*” a combinação de HCN e CO é ainda mais fatal do que apenas um destes gases tóxicos, quando inalados em simultâneo têm um efeito sinérgico em que o CO impede que o oxigénio chegue aos órgãos vitais e o HCN ataca o sistema nervoso central e o sistema cardiovascular causando confusão e desorientação.

O HCl é também um gás tóxico que se liberta durante um incêndio, este gás causa irritações nos humanos com baixas concentrações e apenas causa mortes com uma grande concentração. Os humanos conseguem tolerar até 10 ppm de HCl, quando os valores se aproximam de 70 a 100 ppm o HCl causa irritação intensa provocando tosse e dores de peito, e a partir de 100 ppm é intolerável. O valor considerado tóxico é a partir de 1000 ppm pois pode levar a doenças respiratórias [49].

Assim, podemos concluir que o uso de *sprinklers* é bastante vantajoso para evitar a formação destes gases tóxicos sendo que o incêndio foi rapidamente extinto, no entanto no que toca à visibilidade por conta da formação de fumo, o valor máximo de obstrução da visibilidade pelo fumo é o mesmo com ou sem *sprinklers* [46].

Tabela 3.4 Incêndio num quarto com e sem sprinklers(Adaptado de: [45])

Variável	Sem <i>Sprinklers</i>	<i>Sprinklers</i>
Pico de temperatura	Mais de 500°C	110°C
Pico de monóxido de carbono (CO)	4000 ppm	1000 ppm
Oxigénio mínimo	12%	19%
Pico de HCN	Baixo	Muito baixo
Pico de HCl	Baixo	Muito baixo
Pico de obstrução da visibilidade pelo fumo	Mais de 5 OD/m	2,5-3,0 OD/m

Quanto ao quarto pode-se verificar um resultado muito semelhante ao da sala de estar sendo que o incêndio no quarto com *sprinklers* foi extinto antes que as condições se tornassem perigosas [46].

No que toca à experiência conduzida na cozinha com e sem *sprinklers*, foi iniciado um incêndio com uma panela com óleo de fritar para simular uma típica situação de incêndio. No caso da ausência de *sprinklers* o fogo propagou-se produzindo grandes chamas que danificaram o teto, e um armário que se encontrava próximo. O incêndio sem *sprinklers* prolongou-se durante mais tempo e extinguiu-se naturalmente quando todo o óleo tinha queimado. O incêndio com *sprinklers*, durou menos tempo e foi extinto pelos *sprinklers*, o que fez com que fosse formado menos fumo e calor [46].

Através desta experiência foi possível concluir que os *sprinklers* extinguiriam o fogo rapidamente o suficiente para evitar que os ocupantes sofressem com a inalação de grandes quantidades de gases tóxicos, com dores extremas devido ao calor e que perdessem os sentidos ou ficassem desorientados. No entanto, também se conclui que a visibilidade seria a mesma com ou sem *sprinklers*.

### 3.2.1.2 Prescrição regulamentar de instalação de sistemas automáticos de extinção de incêndios

Segundo o RT-SCIE [50], as UT em que são exigidos sistemas automáticos de extinção de incêndios por água são as UT II, III, VI, VIII e XII (estacionamentos, administrativos, espetáculos e reuniões públicas, hotelaria e restauração, comerciais e gares de transporte e indústrias, oficinas e armazéns, respetivamente), quando a sua categoria de risco é da terceira ou quarta.

Existem ainda algumas outras situações específicas em que o regulamento exige a utilização de *sprinklers* como locais considerados de difícil acesso e carga de incêndio elevada, zonas destinadas a pintura e aplicação de vernizes ou colas com um ponto de inflamação inferior a 55 C.

Embora não seja obrigatório o uso de *sprinklers*, o mesmo pode ser incorporado como uma medida compensatória ou para oferecer uma maior proteção.

Concluindo, a utilização de *sprinklers* é considerada uma boa prática, uma vez que a utilização de sistemas automáticos de extinção de incêndios, atua como uma medida compensatória para conferir segurança aos utilizadores em cenários em que uma maior sustentabilidade compromete a SCIE.

### 3.2.2 Outras práticas

Outro exemplo de prática que assegura a SCIE é a tecnologia corta-fogo.

Existem vários componentes da construção que podem ter esta tecnologia, como as portas (Fig. 3.28) e janelas corta-fogo, paredes corta-fogo e materiais de selagem corta-fogo (Tabela 3.3) para aplicar em juntas, instalações, entre outros.



Figura 3.26 Portas corta-fogo (Fonte: <https://www.univerautomatic.com/portas-corta-fogo-santarem/>)

O sistema corta-fogo consiste em limitar a propagação do incêndio e confiná-lo ao espaço de origem de forma a proteger a vida humana e limitar os possíveis danos.

Tabela 3.5 Materiais corta-fogo e as suas aplicações (Adaptado de: [51])

Material	Material	Aplicações
	Massa moldável (folhas)	Caixas de tomada, disjuntores
	Massa acrílica (bispnaga)	Pequenas aberturas, selagens elétricas
	Revestimento elastomérico	Juntas dinâmicas, juntas de paredes divisórias e selagens que exijam flexibilidade
	Pintura intumescente	Para ser associado a outros sistemas corta-fogo, aumentando o tempo de resistência ao fogo, tais como lâ de rocha e placas de gesso cartonado
	Massa moldável (barras)	Proteção de cabos elétricos e dutos de ar
	Massa moldável (espátula)	Vedação de vãos de maior dimensão, dutos, canos e passagem de cabos
	Colar intumescente	Utilizado em volta de tubos plásticos externos às estruturas
	Fita intumescente	Utilizados em volta de tubos plásticos, internamente às estruturas

# 4

## REFLEXÃO DE ALTERAÇÃO DA LEGISLAÇÃO

### 4.1 CONTEXTO HISTÓRICO

Antes de 2009, o panorama das normas de SCIE em Portugal era bastante diferente do que é hoje. Naquela altura, existiam apenas algumas regulamentações, como o Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU), juntamente com vários decretos-lei que abordavam especificidades, como o Decreto-Lei n.º 64/95, de 4 de abril de 1995, para parques de estacionamento cobertos e o Decreto-Lei n.º 10/2001, de 23 de janeiro de 2001, para estádios, etc. No entanto, a educação da população em relação à SCIE era deficiente, a legislação carecia de clareza e não havia um plano abrangente de gestão de segurança para todo o ciclo de vida das edificações [52]

Em 2009 foi publicado o Regulamento de Segurança contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE)[16] e o Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (RT-SCIE) [50]. Estes marcos representaram uma mudança significativa no panorama da SCIE em Portugal. Entre as principais diferenças em relação às regulamentações anteriores estão:

- A aplicação geral da regulamentação, independentemente do uso e da entidade exploradora;
- A abrangência ao longo de todo o ciclo de vida do edifício;
- A introdução do conceito de utilização-tipo (UT);
- A caracterização do risco de incêndio;
- A adoção de eurocódigos e euroclasses para garantir padrões internacionais de segurança passiva.

Atualmente, a legislação portuguesa sobre SCIE é abrangente e detalhada, composta por dois decretos-lei (Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de novembro e Decreto-Lei n.º 9/2021 de 29 de janeiro), uma portaria (Portaria 1532/2008 de 29 de dezembro), um despacho (Despacho n.º 2074/2009 de 15 de janeiro) 7 notas técnicas (despacho ANEPC), vários cadernos técnicos e dezenas de normas [53]. Existem ainda mais decretos-lei, despachos e portarias, mas estes são apenas atualizações dos acima referidos. No entanto, ao longo das décadas seguintes, observou-se que a maior parte das alterações realizadas foi mais voltada para "correções" do regulamento existente, com poucas mudanças significativas nas medidas técnicas. Isso sugere que o regulamento português de SCIE não conseguiu acompanhar plenamente a evolução das tecnologias e materiais de construção.

É notável que o regulamento de SCIE tenha ficado "atrasado" em relação à evolução na construção, especialmente no que diz respeito à questão da sustentabilidade. Ao contrário de outros regulamentos

na área da construção, como o Decreto-Lei 95/2019, que estabelece o regime aplicável à reabilitação de edifícios existentes que incorpora princípios de sustentabilidade na reabilitação.

Segundo o artigo 5º o Decreto-Lei 95/2019“2 — *A reabilitação de edifícios contribui para a sustentabilidade ambiental através do aumento da vida útil dos edifícios e deve privilegiar a reutilização de componentes da construção, a utilização de materiais reciclados, a redução da produção de resíduos, a utilização de materiais com reduzido impacto ambiental, a redução de emissão de gases com efeito estufa, a melhoria da eficiência energética e a redução das necessidades de energia, incluindo a energia incorporada na própria construção, bem como o aproveitamento de fontes de energia renováveis.* 3 — *No fim da vida útil de componentes ou partes da construção, esgotadas as soluções de manutenção e reabilitação, devem ser privilegiadas ações de desconstrução ou desmontagem, de modo a responder aos objetivos previstos no número anterior, em detrimento da demolição, ainda que seletiva.*” Esta disparidade destaca a necessidade de atualização e modernização contínuas das regulamentações de SCIE, para garantir que estejam alinhadas com os avanços tecnológicos e as preocupações contemporâneas com o meio ambiente.

## 4.2 ANÁLISE DE ALTERAÇÕES

É necessária uma alteração ou substituição da regulamentação atual [54]. Para tal, é fundamental discutir tópicos como:

### 1. Tipo de regulamentação

*Deve se aplicar uma regulamentação prescritiva (como é a atual) ou uma regulamentação baseada no desempenho? É possível a coexistência das duas hipóteses?*

- Por um lado, a regulamentação prescritiva inclui vantagens como:
  - **Clarificação e consistência:** são estabelecidos padrões específicos e inequívocos para a SCIE, o que facilita a compreensão e a aplicação das medidas necessárias;
  - **Simplificação do processo de conformidade:** como os requisitos são definidos de forma clara, os proprietários e empreiteiros podem seguir um conjunto de diretrizes para garantir que os seus edifícios cumpram os padrões de SCIE. Isto torna o processo de conformidade mais simples e direto;
  - **Facilitação da fiscalização:** as autoridades reguladoras podem facilmente inspecionar a conformidade dos edifícios com as regulamentações prescritivas, desta forma avaliando diretamente se os requisitos específicos foram cumpridos;
  - **Redução de riscos:** ao seguir os padrões prescritivos, há uma redução no risco de incêndios e seus impactos, o que pode resultar em menos perdas materiais, lesões e fatalidades em caso de emergência.

Mas também inclui uma série de desvantagens como:

- **Rigidez:** as regulamentações prescritivas podem ser percebidas como inflexíveis, pelo facto de não se adaptarem facilmente a novas tecnologias e métodos de construção. Isto pode limitar a capacidade de implementação de soluções mais eficazes e eficientes;
- **Falta de consideração para circunstâncias individuais:** as regulamentações prescritivas não têm em conta as circunstâncias únicas de cada edifício ou estrutura. O que é apropriado num contexto pode não o ser noutra, o que pode resultar em medidas excessivas ou inadequadas de segurança;
- **Obsolescência:** à medida que novas informações, tecnologias e melhores práticas emergem, as regulamentações prescritivas podem tornar-se obsoletas e deixar de refletir os padrões mais

atualizados de SCIE. Isso pode criar uma lacuna entre as regulamentações existentes e as melhores práticas recomendadas.

Por outro lado, a regulamentação baseada no desempenho tem vantagens como:

- **Flexibilidade:** um regulamento baseado no desempenho permite uma abordagem mais flexível para alcançar os objetivos de SCIE. Em vez de seguir regras prescritivas específicas, os proprietários e construtores podem implementar soluções alternativas que atendam aos critérios de desempenho estabelecidos.
- **Inovação:** ao invés de se limitar a métodos de construção convencionais, um regulamento baseado no desempenho incentiva a adoção de novas tecnologias e técnicas que possam melhorar a SCIE de formas mais eficazes e eficientes.
- **Consideração de circunstâncias individuais:** um regulamento baseado no desempenho tem em conta as características únicas de cada edifício ou estrutura, permitindo a adaptação das medidas de segurança de acordo com o contexto específico, o que pode resultar em soluções mais adequadas.
- **Atualização contínua:** como os critérios de desempenho podem ser revistos e atualizados conforme novas informações e tecnologias surgem, um regulamento baseado no desempenho tende a ser mais dinâmico e capaz de refletir os padrões mais recentes de SCIE.

E apresenta desvantagens como:

- **Complexidade:** um regulamento baseado no desempenho pode ser mais complexo devido à necessidade de avaliar o desempenho em termos quantitativos e qualitativos, o que pode exigir uma compreensão mais profunda dos princípios de engenharia de incêndio e análise de risco
- **Interpretação subjetiva:** como os critérios de desempenho podem ser mais abertos à interpretação, pode haver variação na forma como diferentes partes interessadas avaliam e aplicam os requisitos de SCI, o que pode levar a inconsistências.
- **Necessidade de especialização:** a implementação eficaz de um regulamento baseado no desempenho pode exigir conhecimentos especializados em engenharia de incêndio e análise de risco, tanto por parte dos reguladores como dos profissionais envolvidos no projeto e construção de edifícios.
- **Desafios de fiscalização:** a avaliação do cumprimento dos critérios de desempenho pode ser mais desafiadora do que a simples verificação da conformidade com requisitos prescritivos, exigindo métodos de fiscalização mais sofisticados e recursos adicionais.

## 2. Caracterização dos usos e dos riscos

Algumas questões que se colocam na formulação de um novo regulamento são: *Devem se manter as 12 utilizações-tipo? Onde se integram os recintos ao ar livre, itinerantes e provisórios? Devem ser mantidos os locais de risco e categorias de risco? Deve ser adotada uma função para classificar os edifícios quanto à categoria de risco?* [54]

### 4.2.1 EXEMPLO DE ABORDAGEM MISTA

Atualmente já existem países que alteraram o seu regulamento para integrar a SCIE com a sustentabilidade, como por exemplo o Reino Unido.

Como já mencionado anteriormente, após o incêndio trágico na Torre Grenfell em 2017, que resultou em 72 mortes e deixou um impacto duradouro na comunidade e na política do Reino Unido, várias mudanças significativas foram propostas e implementadas no sistema de regulamentação de SCIE em edifícios [55].

Uma das mudanças foi a revisão das regulamentações de SCIE por parte do governo, com o objetivo de fortalecer os padrões de segurança e prevenção de incêndios em edifícios residenciais e comerciais.

Uma das principais questões identificadas após o incêndio da Torre Grenfell foi o uso de materiais de revestimento inflamáveis, como o revestimento de polietileno composto que contribuiu para a rápida propagação do fogo. Como resultado, foram implementadas proibições de materiais de revestimento de fachadas considerados inseguros [56]. Um destes materiais é o material compósito metálico com núcleo de polietileno não modificado (o tipo de material que foi utilizado na fachada da Torre Grenfell). 94% dos edifícios que possuíam este tipo de revestimento já removeram por completo ou estão a remover este material [57].

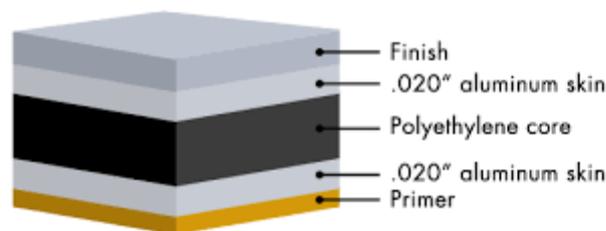


Figura 4.1 Composição de material compósito metálico proibido  
(Fonte: <https://www.alpolic-america.com/products/polyethylene-core/>)

O governo introduziu também novas medidas para garantir a segurança de edifícios residenciais em altura. Para edifícios com mais de 11 metros de altura será necessária uma inspeção anual obrigatória, realizada por um profissional, especificamente para todas as portas corta-fogo em locais comuns [55].

Adicionalmente, foram propostas mudanças nas práticas de gestão de incêndios em edifícios residenciais, incluindo a instalação de sistemas de *sprinklers* em novas construções acima de 11 metros e aprimoramentos nos sistemas de detecção de incêndio e alarmes [58].

Foram levantadas preocupações sobre a qualidade da construção e a fiscalização dos edifícios, como o já mencionado uso de materiais combustíveis em fachadas e a falta de fiscalização por parte de um profissional de SCIE. O governo está atualmente em busca de progredir no setor da construção para garantir que os padrões de segurança sejam cumpridos e que haja uma fiscalização adequada durante o processo de construção e inspeção de edifícios [59].

Estes exemplos de alterações representam uma resposta direta ao incêndio da Torre Grenfell e refletem o compromisso do governo do Reino Unido em melhorar a SCIE e evitar tragédias semelhantes no futuro. O processo de implementação dessas mudanças ainda está em curso e continua a ser um foco importante para as autoridades e a sociedade civil no Reino Unido.

No Reino Unido, as regulamentações de SCIE adotam uma abordagem mista, combinando elementos de regulamentação prescritiva e baseada no desempenho. Por exemplo, os Documentos de Orientação Aprovada (*Approved Documents*) fornecidos como parte dos Regulamentos de Construção, frequentemente estabelecem padrões prescritivos claros, enquanto permitem certa flexibilidade na forma como esses padrões são atendidos, desde que o desempenho geral seja alcançado [60]

#### 4.2.2 ANÁLISE APRESENTADA NO ÂMBITO DESTE TRABALHO

Desta forma, uma proposta apelativa para uma alteração do regulamento português seria usar utilizar a coexistência de dois regulamentos, o prescritivo e o baseado no desempenho. Com esta abordagem, seria possível dar a oportunidade de escolha ao projetista do uso de um dos regulamentos dependendo dos seus objetivos.

Na formulação de uma futura legislação prescritiva, é necessário identificar os fatores que constituem o perigo e a exposição. Os fatores de perigo são: a quantidade de fumo libertado, a temperatura do fumo e gases quentes, a concentração de gases tóxicos e a radiação. Já os fatores de exposição incluem o número de ocupantes, o edifício onde o incêndio ocorre, o conteúdo físico do seu interior, os edifícios vizinhos e o meio ambiente.

Segundo Leça Coelho[52], a definição de um índice de perigosidade ( $IP_{UT}$ ) (2) seria uma mais-valia para a análise dos vários fatores.

$$IP_{UT} = \sum_{i=1}^4 F_{pi} \quad (2)$$

O  $F_{pi}$  são os fatores de risco que se dividem em:

- $F_{SI}$  – Fator de severidade do incêndio;
- $F_{AE}$  – Fator altura do edifício e/ou número de pisos abaixo do plano de referência;
- $F_{Ef}$  – Efetivo associado à UT;
- $F_{TO}$  – Tipo de ocupantes existentes na UT.

O fator de severidade do incêndio é dividido em 4 tipos de incêndio, sendo  $t_{\alpha}$  o fator de desenvolvimento do incêndio, conforme a seguinte tabela (Tab. 4.1).

Tabela 4.1 Tipos de incêndio

<b>Tipo de incêndio</b>	<b><math>t_{\alpha}</math> (s)</b>	<b>Tipo de utilizações</b>	<b>Materiais</b>
<b>Lento (L)</b>	600	Gares de transporte público	Materiais de baixa combustibilidade.
<b>Médio (M)</b>	300	Escritórios, salas de aula, quarto de hotel, habitação, hospital	Materiais celulósicos como caixas de papelão e paletes de madeira.
<b>Rápido (R)</b>	150	Teatros, cinemas, centros comerciais, bibliotecas	Produtos plásticos empilhados, armazenamento de roupas e similares.
<b>Ultrarrápido (U)</b>	75	Determinadas indústrias e armazenamentos	Líquidos facilmente inflamáveis, espumas de plásticos celulares expandidos e similares.

Assim, cada classificação de tipo de incêndio recebe um determinado valor do fator de severidade do incêndio (Tab. 4.2).

Tabela 4.2 Fator de severidade do incêndio

<b>Tipo de incêndio</b>	<b><math>F_{SI}</math></b>
<b>Lento (L)</b>	1
<b>Médio (M)</b>	1,5
<b>Rápido (R)</b>	2,5
<b>Ultrarrápido (U)</b>	6

Já para o tipo de ocupantes existentes na UT ( $F_{TO}$ ), com OGS sendo organização e gestão de medidas de segurança, a tabela abaixo (Tabela 4.3) apresenta uma classificação.

Tabela 4.3 Tipo de ocupantes

<b>Tipo de ocupantes</b>	<b>Designação</b>	<b>Exemplos de utilização</b>	<b><math>F_{TO}</math></b>
<b>Ativos e conhecedores do edifício, ou em trânsito</b>	$O_{T1}$	Escritórios, escolares, instalações industriais, aeroportos, estações ferroviárias e rodoviárias	1
<b>Ativos e não conhecedores do edifício</b>	$O_{T2}$	Lojas, centros comerciais, museus, locais de lazer bibliotecas	1,5
<b>Em repouso, conhecedores do edifício, e com OGS 24 horas por dia</b>	$O_{T3}$	Habitação com OGS, dormitórios escolares com OGS e ocupações similares	2
<b>Em repouso, conhecedores do edifício, mas sem OGS 24 horas por dia, ou não conhecedores do edifício, mas com OGS durante 24 horas</b>	$O_{T4}$	Habitação sem OGS, dormitórios escolares sem OGS e ocupações similares, ou hotéis e similares com OGS	2,5
<b>Em repouso, não conhecedores do edifício e sem OGS durante 24 horas</b>	$O_{T5}$	Hotéis e similares sem OGS	3
<b>Recebendo cuidados médicos, ou com idade inferior a 6 anos e com OGS 24 horas por dia</b>	$O_{T6}$	Hospitais, lares, creches e similares	4

Desta forma, é possível definir 4 classes de perigo, cada uma correspondente a um índice de perigo de acordo com o seguinte quadro. (Tabela 4.4)

Tabela 4.4 Classes de perigo

Classe de perigo	$IP_{UT}$
I	$IP_{UT} \leq 6$
II	$6 < IP_{UT} \leq 9$
III	$9 < IP_{UT} \leq 12$
IV	$IP_{UT} > 12$

Para além de uma análise matemática, é também necessária uma análise prática no caso do uso de novos materiais. O uso de novos materiais sustentáveis na construção, implica que estes sejam submetidos a ensaios para determinar a sua reação ao fogo. Um destes ensaios é o ensaio do objeto isolado em combustão (também conhecido como ensaio SBI-(*Single Burning Item*)) (Fig. 4.2).

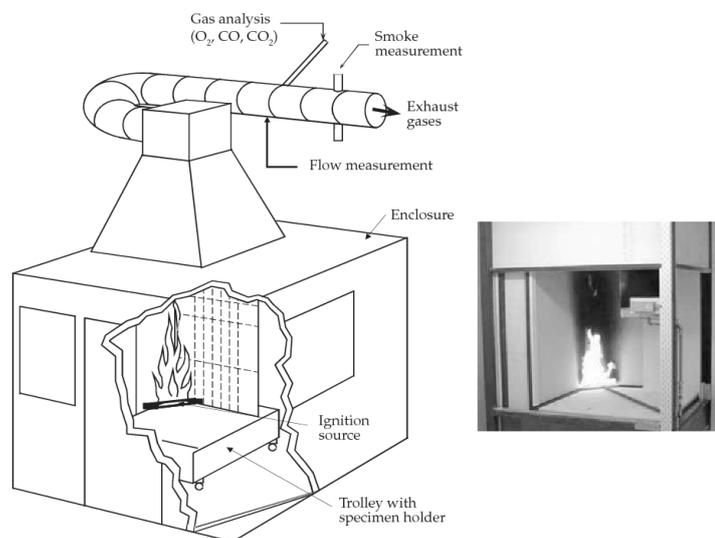


Figura 4.2 Esquema do ensaio SBI

(Fonte: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Single-Burning-Item-%28SBI%29-test-method-a-decade-Mierlo-Sette/f0007100408df847cca3d5b459c442cddf1462e0/figure/0>)

O ensaio do objeto isolado em combustão é um procedimento utilizado para avaliar a inflamabilidade e a combustibilidade de materiais sólidos. Este ensaio é realizado em laboratórios para determinar a energia liberada durante a combustão de um material específico.

Este tipo de ensaio é essencial para compreender o comportamento de materiais em situações de incêndio, fornecendo informações essenciais para o desenvolvimento de regulamentos de SCIE e para o projeto de produtos mais seguros.

O ensaio segue a norma EN13823 [61]. Durante o ensaio, o material a ser testado é preparado num formato padronizado e colocado numa câmara de combustão isolada, garantindo que o ambiente externo não influencia o resultado do teste. Uma fonte de ignição é então aplicada ao material, iniciando assim o processo de combustão. Durante a queima, diversos parâmetros são monitorizados e registados, incluindo a taxa de libertação de calor, o total de calor libertado, a taxa de produção de fumo e a duração da combustão.

Os resultados obtidos no ensaio do objeto isolado em combustão são analisados para determinar a capacidade do material de suportar a propagação do fogo e a quantidade de energia liberada durante o

processo de combustão. Estas informações são cruciais para avaliar o risco de incêndio associado ao material e para orientar decisões relacionadas com o seu uso em diversas aplicações.

Além disso, os resultados do ensaio podem ser comparados com padrões e regulamentos de SCIE para garantir que o material atende os requisitos mínimos de segurança.

Compreender o comportamento de combustão dos materiais é fundamental para mitigar os riscos de incêndio e garantir a segurança de pessoas e propriedades.

Quanto à reformulação da atual regulamentação prescritiva, esta deve ser atualizada tendo em conta as mais atualizadas exigências de desempenho. As exigências de desempenho aplicam-se aos materiais e técnicas de construção. Os critérios considerados aceitáveis quantificam a capacidade de desempenho dos materiais, componentes, sistemas de segurança e do próprio edifícios em termos de valores absolutos, ou intervalos de valores.

### **4.3 CONCLUSÕES**

A partir da análise deste capítulo foi demonstrado os problemas atuais do uso de tecnologias e materiais sustentáveis. Ainda existe um longo caminho a percorrer para que seja possível o uso de qualquer material sustentável na construção. É necessário analisar tanto os novos materiais que surgem para substituir a atual construção tradicional que se mostra muito poluente, como as leis e regulamentações atuais que foram concebidas para a construção tradicional e ainda não são capazes de acomodar uma construção sustentável.

# 5

## ESTUDO DE CASO

### 5.1 INTRODUÇÃO

No seguinte capítulo pretende-se analisar um projeto quanto à SCIE. Para além de explorar a conformidade regulamentar, serão estudadas alternativas sustentáveis às opções tradicionais utilizadas, que poderiam conceder ao edifício em estudo um nível de certificação LEED. No entanto, estas alternativas não poderiam ser aplicadas de acordo com a atual legislação portuguesa, mas em âmbito académico é relevante estudar como é que alternativas sustentáveis podem ser aplicadas de forma segura e sem comprometer a SCIE.

O projeto em estudo trata-se de um edifício com o propósito de constituir uma residência sénior, que possui 5 pisos, uma área bruta total de 2651,12 m<sup>2</sup> e uma cobertura plana. O piso -1 tem 186,55 m<sup>2</sup>, o piso 0 tem 64,65 m<sup>2</sup> e os pisos 1, 2 e 3 têm 556,64 m<sup>2</sup> cada, sendo estes muito semelhantes entre si. O acesso principal é feito pelo piso 0, no entanto, embora apelidado de piso -1, existe uma rua que permite o acesso pelo exterior a este piso, considerando assim dois planos de referência, um deles com 11,5 m (o que permite acesso ao piso 0) e o outro com 15,02m (o que permite o acesso ao piso -1). Verifica-se que em ambas as situações o edifício é considerado como um edifício de média altura e por isso enquadra-se na 3<sup>o</sup> categoria de risco.

A cobertura é acessível através de uma via vertical comum, mas serve apenas para a colocação de equipamentos técnicos. A estrutura do edifício é em betão armado, as suas paredes divisórias são constituídas por elementos pesados como betão e alvenaria, sendo algumas delas paredes leves (gesso cartonado).

O edifício como será uma residência sénior enquadra-se na UT V (hospitalar e lares de idosos) e possui locais de risco D (local de um estabelecimento com permanência de pessoas acamadas ou limitadas na mobilidade ou nas capacidades de perceção e reação a um alarme) e 2 locais de risco F (local que possua meios e sistemas essenciais à continuidade de atividades sociais relevantes), o reservatório e o gabinete da direção onde se encontra o posto de segurança. Possui um efetivo total de 280 ou de 106 se for considerada a não simultaneidade dos espaços.

### 5.2 ANÁLISE DE CONFORMIDADE REGULAMENTAR

Para evitar a repetição exaustiva foi analisado o projeto e concluiu-se que todo o projeto se encontra em conformidade com a legislação de SCIE atual. Não existem medidas compensatórias pois todos os elementos encontram-se em conformidade.

Existem também algumas medidas vantajosas aplicadas neste projeto:

- O edifício encontra-se a apenas 350 m (1 minuto de distância) de um corpo de bombeiros;
- As UT III (administrativas) e XII (armazenamento) foram integradas na UT V.

### 5.3 ANÁLISE SUSTENTÁVEL

Esta análise tem o objetivo de tentar alcançar o nível mais alto da certificação LEED, o nível *Platinum*. Para atingir este objetivo é necessário obter um mínimo de 80 créditos dos 110 disponíveis na certificação LEED. Para além disso também é necessário cumprir os pré-requisitos apresentados na tabela 2.2, pois não seria possível obter qualquer certificação sem estes requisitos. Assumindo que o projeto atual já cumpre esses pré-requisitos, foi utilizada uma versão da tabela 2.3 para contabilizar os pontos que com algumas alterações poderiam ser alcançados. Cada subcapítulo trata uma das categorias do LEED, explicando que alterações é que necessitam de ser aplicadas para cumprir cada requisito ou como alguns dos requisitos já são cumpridos.

#### 5.3.1 ESTALEIROS SUSTENTÁVEIS

- **Avaliação do estaleiro:** Para cumprir este requisito é necessário avaliar o estaleiro de obra quanto à:
  - Topografia: Riscos de instabilidade de taludes, características topográficas únicas;
  - Hidrologia: avaliar oportunidades de recolha e reutilização de águas e identificar as superfícies impermeáveis e permeáveis do estaleiro;
  - Clima: Exposição solar e oportunidades de sombra, ventos predominantes, precipitação mensal média e intervalos de temperatura;
  - Vegetação: Estudar os tipos de vegetação existentes, a cartografia das árvores, entre outros;
  - Solos: Analisar a composição dos solos, se são solos saudáveis ou não;
  - Uso humano: Uso de materiais com potencial de reciclagem e/ou reutilização;
  - Efeitos na saúde humana: Oportunidades de exercício físico, proximidade de populações vulneráveis.

Como será alocada uma equipa de trabalhadores especializados na sustentabilidade, esta avaliação também deverá ficar a seu cargo.

- **Proteger ou restaurar habitat:** Como não é possível saber a situação do solo, considera-se a pior opção, para restaurar o habitat devem ser plantados no mínimo 6 espécies de vegetação nativas e deve ser reservado uma área de pelo menos 3 m<sup>2</sup> destinada à vegetação. Assim, como o projeto prevê uma grande área de jardim, deve apenas ter-se o cuidado de plantar espécies de vegetação nativas.
- **Open space:** O espaço exterior deve ser maior ou igual a 30% da área total, neste caso o espaço exterior é igual a 61% da área total (a área coberta tem 764,65 m<sup>2</sup> de um total de 1950,33 m<sup>2</sup>. 25% desse espaço deve ser ocupado por vegetação. Sendo que de um total de 1184,68 m<sup>2</sup>, aproximadamente 650 m<sup>2</sup> são cobertos por vegetação, o projeto cumpre este requisito. Esta área ajardinada aloja uma horta biológica onde os residentes do lar podem cultivar alimentos, mas também pode servir para fazer exercício físico dedicado aos idosos para fortalecimento dos músculos. Um espaço tão amplo de jardim, traz a possibilidade para variadas atividades, mas sobretudo, é uma mais-valia para a saúde física e mental da população residente do lar.

#### 5.3.2 LOCALIZAÇÃO E TRANSPORTES

- **Proteção de terrenos vulneráveis:** O terreno onde o projeto se encontra não se classifica como um terreno vulnerável, estes sendo terras agrícolas, áreas a 15 metros de zonas húmidas, áreas a

30 metros de um corpo de água, zonas de habitat natural de espécies protegidas e áreas de risco de cheia.

- **Instalações para bicicletas:** Existe área desocupada suficiente para conseguir acomodar 4 lugares de bicicleta (2,5% do pico do efetivo, sendo 4 o número mínimo de lugares exigido) para uso de pouco tempo (uso de visitantes).

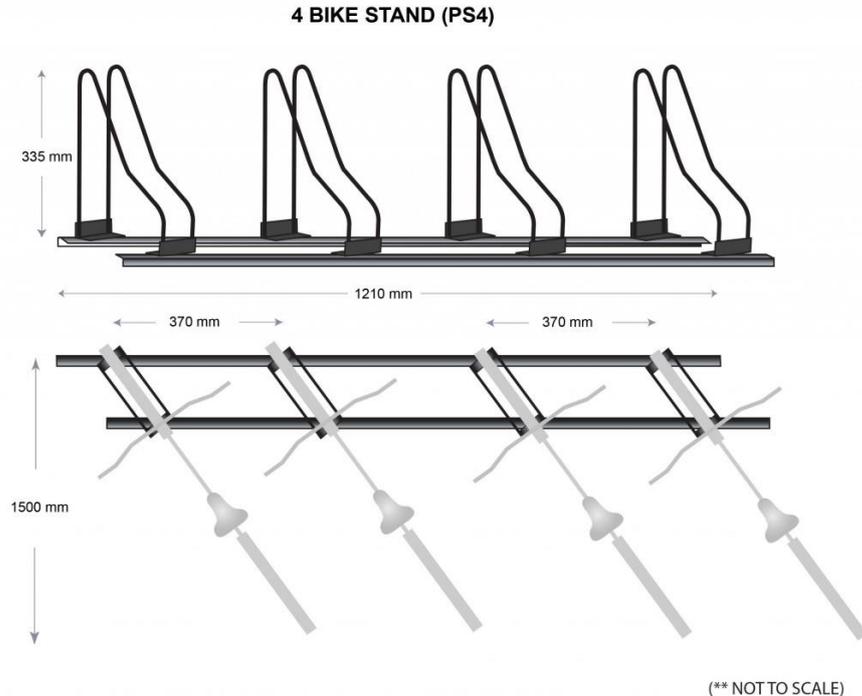


Figura 5.1 Medidas de lugares de bicicleta  
(Fonte: <https://www.bikestands.com.au/product/bike-parking-stands-4-bicycles/>)

A partir da figura 5.1 calcula-se que a área necessária para a instalação de 4 lugares para bicicletas é de  $1,82 \text{ m}^2$ .

- **Redução da pegada de estacionamento:** Não existe zona de estacionamento prevista em projeto.

Muitos dos critérios de localização, como não é possível alterar a localização do projeto, não poderão ser alcançados visto que a envolvente da localização do projeto já se encontra construída. Também não existe acesso a transportes públicos na envolvente o que faz com que os requisitos que proporcionam mais pontos não poderão ser cumpridos.

### 5.3.3 EFICIÊNCIA HÍDRICA

- **Redução do uso de água no exterior e Redução do uso de água em ambientes internos:** Para atender a estas duas medidas foi pensado instalar um sistema coletor de águas pluviais para que estas pudessem ser utilizadas no sistema de rega, autoclismos, etc. No entanto, este sistema é um sistema complexo e dispendioso que requer especial atenção no que toca às contaminações da rede pública. Apesar de dispendioso, sistemas como este mostram-se vantajosos no futuro devido à poupança financeira que se obtém através da reutilização da água.
- **Medição de água:** Devem ser instalados medidores de água para controlar o consumo de água. Neste caso, pode ser instalado no sistema de rega e no sistema de abastecimento de água.

## 5.3.4 ENERGIA E ATMOSFERA

- **Comissionamento melhorado:** Para cumprir este requisito é necessário contratar um responsável pelo processo de comissionamento, este profissional deve ter experiência de pelo menos dois projetos de construção semelhantes e deve ser um consultor independente da empresa de construção. O sistema LEED descreve as funções deste profissional e são bastante semelhantes ao que, em Portugal, são as funções de um Fiscal de obra. Como é obrigatório existir fiscalização independente da equipa de construção em Portugal, este requisito é cumprido.
- **Otimizar o desempenho energético:** Para este requisito será necessário cumprir o ASHRAE 90.1-2016 *Prescriptive Requirements*, que consiste numa *checklist* que lista os valores de R (capacidade do material resistir à transferência de calor) do isolamento de vários elementos como a cobertura, paredes, pavimentos e portas. O documento ASHRAE 90.1-2016 *Prescriptive Requirements* é um documento norte-americano, posto isto, é possível que alguns dos requisitos não sejam facilmente aplicados em países europeus devido às normas europeias existentes. Atualmente o projeto conta com alvenarias de tijolo térmico e acústico e em tijolo cerâmico simples, pelo que deve ser inteiramente projetado para ser apenas utilizado tijolo térmico e acústico (como o tijolo térmico é 30% mais caro que o tijolo simples, esta medida, tal como muitas outras, tornaria o projeto mais dispendioso, no entanto iria melhorar o desempenho energético). O exterior possui um sistema ETICS para melhorar o desempenho energético. No interior existem revestimentos de parede em vinílico, cerâmica e tinta, e pavimentos em vinílico e cerâmico, sendo que estes elementos não devem ser alterados pelo facto de ser um lar de idosos e necessitar de ter uma limpeza fácil para evitar a propagação de bactérias. As portas são em madeira, pelo que podem ser alteradas para portas térmicas (novamente, um custo acrescido pois as portas com propriedades térmicas melhoradas são bastante mais dispendiosas do que as portas simples). As janelas devem ser termicamente melhoradas não só para melhorar o desempenho energético, mas também para que possam ser usadas mais janelas na zona de convívio. As persianas contam com uma caixa de estore com isolamento térmico. O sistema de AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) é um sistema simples, mas para que seja cumprido este requisito deve ser alterado para que esteja de acordo com os pontos 6.5.1 a 6.5.11 do ASHRAE 90.1-2016. Para alcançar uma classificação melhor neste parâmetro, deve ser instalada iluminação com sensores, para evitar o desperdício de energia, e devem ser instalados eletrodomésticos com uma determinada eficiência energética. Como o edifício é um lar de idosos, a potência da iluminação não deve ser reduzida pois é sempre necessário que esta faixa etária tenha sempre uma boa visibilidade, para evitar acidentes.
- **Medição avançada de energia:** Este requisito exige a instalação de contadores de eletricidade em todas as fontes de energia usadas pelo edifício. É necessário que seja possível consultar estes contadores remotamente e que seja possível observar os dados de cada hora, dia, mês e ano. Em Portugal, ao ser instalada a ligação à fonte de energia, os contadores também são instalados pela empresa responsável por fornecer energia, assim sendo este requisito também é cumprido.
- **Energia renovável:** A cobertura é uma cobertura plana e acessível através de uma via vertical, com o propósito de colocação de alguns equipamentos técnicos. Para cumprir este requisito podem ser adicionados painéis fotovoltaicos na cobertura. Para que estes painéis sejam instalados e utilizados sem que seja comprometida a SCIE devem ser seguidas as medidas de mitigação de riscos mencionadas no capítulo 3.1.3.
- **Gestão melhorada de fluidos refrigerante:** Os fluidos refrigerantes utilizados no sistema AVAC devem ser de baixo impacto, ou seja que tenham um ODP (*ozone depletion potential*) de 0 e um PAG (Potencial Aquecimento Global) ou GWP (*Global Warming Potential*) em inglês de menos de 50. O melhor fluido a utilizar seria o dióxido de carbono que é um fluido natural com 0 ODP e 1 PAG. Existem outros fluidos com ODP e PAG baixos como o amoníaco (0 ODP e 0 PAG) ou o

Butano e o Propano, mas estes fluidos são pouco utilizados devido à sua toxicidade e explosividade, respetivamente [62].

#### 5.3.5 MATERIAIS E RECURSOS

- **Redução do Impacto do Ciclo de Vida do Edifício:** Para novas construções, é necessário efetuar uma avaliação do ciclo de vida da estrutura e envolvente do projeto do “berço” até ao “fim de vida”. Para cumprir este requisito a avaliação do ciclo de vida deve demonstrar reduções de 20% de potencial de aquecimento global em comparação com um edifício de referência. Para projetos europeus pode ser usada a norma EN 15978 para efetuar a avaliação do ciclo de vida do edifício.
- **Certificados ambientais de produtos:** Para cumprir este requisito pelo menos 20 dos produtos devem ser verificados de acordo com a ISO 14044:2006, para que seja confirmado um bom desempenho no que toca à avaliação do ciclo de vida do produto. Para que este critério seja aplicado no projeto é necessário que a equipa responsável pela escolha dos materiais tenha em conta estas exigências, que, bem como muitas das alterações, aumentam o orçamento do projeto.
- **Aquisição de matérias-primas:** Pelo menos 30% dos materiais utilizados em obra devem ser adquiridos a fabricantes que cumpram pelo menos um dos seguintes critérios: um fabricante que participa num programa de responsabilidade alargada do fabricante ou que é diretamente responsável pela responsabilidade alargada do fabricante. Os produtos e materiais de base biológica, com exceção da madeira, devem ser testados utilizando o método de teste ISO 16620-2. Excluem-se os produtos de pele, como o couro e outros materiais de pele animal. A reutilização inclui produtos recuperados, recondicionados ou reutilizados. Novamente, este critério pode ser cumprido se existir um cuidado acrescido na escolha dos materiais e fabricantes. Logicamente, como são materiais que passam por testes e mais difíceis de obter, estes serão significativamente mais caros que os materiais utilizados na construção tradicional.
- **Ingredientes dos materiais:** Pelo menos 20 materiais devem possuir um dos seguintes certificados: - ANSI/BIFMA e3 Furniture Sustainability Standard; Cradle to Cradle; Declare; Global green TAG; Health product Declaration; Living Product Declaration. Como o edifício serve o propósito de lar de idosos todos os materiais utilizados na construção têm uma exigência biológica associada para que a segurança biológica não seja comprometida. Assim sendo, os materiais cumprem este requisito. Para obter mais pontos seria necessário que os materiais não percorressem mais de 160 km até chegarem ao estaleiro. Esta medida não pode ser garantida sendo que este tipo de materiais ainda é difícil de encontrar e nem todos os fabricantes têm oferta de materiais tão sustentáveis.
- **Gestão de Resíduos de Construção e Demolição:** Para que este requisito seja cumprido é necessário que o projeto tenha um plano de gestão de resíduos de construção e demolição. É necessário identificar estratégias para reduzir a produção de resíduos durante a conceção e construção, estabelecer objetivos de desvio de resíduos e descrever onde os materiais serão recolhidos. Sendo que o terreno atual não tem qualquer construção para obter a totalidade dos pontos deve-se utilizar estratégias de conceção e técnicas de construção que minimizem os resíduos para os novos elementos de construção gerando menos de 50kg/m<sup>2</sup> de resíduos. Esta tarefa de exploração de estratégias para a redução de resíduos deve ser explorada pela equipa alocada à sustentabilidade.

#### 5.3.6 QUALIDADE AMBIENTAL INTERNA

- **Materiais de baixa emissão:** Os produtos utilizados na construção não devem ter contaminantes químicos que prejudicam a qualidade do ar, a produtividade e o conforto dos trabalhadores e dos ocupantes do edifício. Como já foi mencionado, os materiais devem ser cuidadosamente escolhidos visto que se trata de um lar de idosos, onde a saúde dos utentes deve

ser uma prioridade. Assim, é necessário que o responsável pela escolha de materiais tenha isto em conta e tenha em especial atenção às tintas, vernizes, adesivos, selantes, painéis e isolamentos utilizados.

- **Plano de Gestão da Qualidade do Ar Interior na Construção:** Durante a fase de construção e limpeza de obra deve ser desenvolvido um plano de gestão de qualidade do ar para proteger os trabalhadores. Para que este requisito seja cumprido, o engenheiro de ambiente e qualidade deve trabalhar para desenvolver este plano.
- **Avaliação da Qualidade do Ar Interior:** Antes da fase de utilização devem ser instalados filtros de ar. Como se trata de uma residência para idosos é muito importante a qualidade do ar interior sendo então a instalação de filtros de ar uma prioridade para o projeto.
- **Conforto Térmico:** A zona de conforto térmico deve estar de acordo com o ASHRAE Standard 55-2017. Atualmente Portugal tem várias exigências de conforto térmico para novas construções, e o projeto atual já conta com medidas de isolamento térmico e sistemas de AVAC. O conforto térmico é uma variável importante a ter em atenção dado o propósito do edifício, sendo que pessoas mais debilitadas e idosas requerem um maior conforto térmico.
- **Iluminação Interior:** Pelo menos 90% dos espaços de ocupação frequente devem possuir iluminação interior regulável ou multinível e a iluminação deve ter uma luminosidade inferior a 7000 lumens por m<sup>2</sup>.
- **Luz solar:** Para cumprir este requisito é necessário realizar simulações para entender quanta luz solar é que os espaços regularmente utilizados recebem, como não é possível realizar esta simulação pode-se assumir que o edifício recebe bastante luz solar, tendo em quanta a sua quantidade atual de janelas. No entanto, seria uma mais-valia que um espaço como a sala de estar e a sala de refeições tivesse uma parede em vidro para que os utentes tivessem uma zona de descanso com luz natural. O acesso a luz natural também melhora a saúde mental dos utentes.



Figura 5. 2 Exemplo de uma parede em vidro  
(Fonte:<https://www.vivadecora.com.br/revista/parede-de-vidro/>)

- **Vistas de qualidade:** Para além da luz solar, a parede envidraçada mencionada acima também contribuiria para uma boa vista para o jardim e horta biológica que serão construídos na zona exterior.

- **Desempenho Acústico:** O projeto já prevê que no revestimento das paredes interiores sejam utilizados painéis acústicos em MDF com preenchimento em lã de rocha, estes painéis são utilizados para o isolamento acústico entre quartos para proporcionar aos utentes um maior conforto. Deve ser analisado e controlado o barulho de fundo do sistema AVAC para que não cause desconforto.

#### 5.3.7 INOVAÇÃO NO DESIGN

- **Inovação:** Para cumprir o requisito de inovação é necessário usar exemplos de inovação que podem ser encontrados no LEED *Innovation Catalog* [63].
  1. Uma das inovações que seriam interessantes para o projeto seria a criação de uma horta local sendo que uma atividade ao ar livre encoraja os idosos a saírem e melhora a saúde mental;
  2. A cada 2 anos fazer um questionário aos usuários que avalia como os mesmos se sentem em relação à acústica, à limpeza do edifício, à qualidade do ar interior, à luz e ao conforto térmico. Se mais de 20% dos ocupantes não estiverem satisfeitos deve ser posto em ação um plano para corrigir os problemas apontados pelos utilizadores;
  3. Analisar pelo menos 3 dos produtos instalados no edifício considerando:
    - Os usos do produto;
    - Exposições perigosas;
    - Vida útil do produto;
    - Geração de resíduos e/ou reutilização de materiais;
    - Contribuições para a saúde, a segurança e o ambiente, incluindo melhorias na segurança dos ocupantes, na qualidade do ar, na qualidade da água, na reutilização de materiais, na eficiência energética e na redução das emissões de carbono.
- **Profissional acreditado LEED:** Pelo menos 1 dos integrantes da equipa deve ser um profissional acreditado pelo LEED.

#### 5.3.8 PRIORIDADE REGIONAL

- Os requisitos que, em Portugal, têm prioridade são:
  1. Redução da poluição luminosa – Estaleiros sustentáveis (requer 1 ponto);
  2. Otimizar o desempenho energético-Energia e Atmosfera (requer 8 pontos);
  3. Proteger ou restaurar habitat – Estaleiros sustentáveis (requer 2 pontos);
  4. Conforto térmico – Qualidade ambiental interna (requer 1 ponto);
  5. Proteção de terrenos vulneráveis – Localização e transporte (requer 1 ponto);
  6. Gestão das águas pluviais – Estaleiros sustentáveis (requer 2 pontos).

Com 4 dos 6 requisitos é possível obter os 4 pontos deste critério. Como durante esta análise se obteve os pontos necessários nos requisitos 2,3,4 e 5 da lista acima, também se obtém os 4 pontos deste critério.

#### 5.3.9 PROCESSO INTEGRADOR

É necessário que durante a fase de projeto seja estabelecido um objetivo de desempenho energético e efetuada uma análise preliminar do orçamento da água para que seja possível reduzir as cargas de água potável no edifício e reduzir a carga sobre os sistemas municipais de abastecimento. Também é necessário efetuar uma análise de riscos ambientais e naturais como terremotos, secas, cheias, *etc.* É possível cumprir este requisito desde que seja alocada uma equipa de trabalho dedicada à sustentabilidade do projeto, o que requer que seja feito um investimento na sustentabilidade.

## 5.3.10 CONCLUSÕES

A tabela 5.1 demonstra os pontos que cada requisito obteve de acordo com os subcapítulos acima.

Tabela 5.1 Descrição exhaustiva dos pontos

<b>Categoria</b>	<b>Requisito</b>	<b>Pontos</b>
Estaleiros sustentáveis	Avaliação do estaleiro	1/1
	Proteger ou restaurar habitat	2/2
	<i>Open space</i>	1/1
	Gestão das águas pluviais	0/3
	Redução de ilhas de calor	0/2
	Redução da poluição luminosa	0/1
Localização e transportes	Proteção de terrenos vulneráveis	1/1
	Local de alta prioridade e desenvolvimento equitativo	0/2
	Densidade envolvente e usos diversificados	0/5
	Acesso a transportes de qualidade	0/5
	Instalações para bicicletas	1/1
	Redução da pegada de estacionamento	1/1
	Veículos elétricos	0/1
Eficiência hídrica	Redução do uso de água no exterior	2/2
	Redução do uso de água em ambientes internos	6/6
	Otimizar a utilização da água de processo	0/2
	Medição de água	1/1
Energia e Atmosfera	Comissionamento melhorado	6/6
	Otimizar o desempenho energético	8/18
	Medição avançada de energia	1/1
	Harmonização da rede	0/2
	Energia renovável	5/5
	Gestão melhorada de fluidos refrigerante	1/1
Materiais e Recursos	Redução do Impacto do Ciclo de Vida do Edifício	5/5
	Certificados ambientais de produtos	2/2
	Aquisição de matérias-primas	2/2
	Ingredientes dos materiais	1/2
	Gestão de Resíduos de Construção e Demolição	2/2
Qualidade ambiental interna	Estratégias de melhoria da qualidade do ar interior	0/2
	Materiais de baixa emissão	3/3
	Plano de Gestão da Qualidade do Ar Interior na Construção	1/1

	Avaliação da Qualidade do Ar Interior	2/2
	Conforto Térmico	1/1
	Iluminação Interior	2/2
	Luz solar	3/3
	Vistas de qualidade	1/1
	Desempenho Acústico	1/1
Inovação no design	Inovação	3/5
	Profissional acreditado LEED	1/1
Prioridade regional	Créditos específicos de prioridades regionais	4/4
Processo integrador	Processo integrador	1/1
<b>TOTAL</b>		<b>72</b>

As alterações sugeridas para chegar a esta tabela foram as seguintes:

- **Instalação de painéis fotovoltaicos na cobertura:** Esta alteração tem o propósito de fornecer uma energia renovável ao edifício. Com esta alteração acresce as dificuldades causadas à SCIE que são exploradas no capítulo 3.1.3. Portanto, devem ser analisadas e aplicadas as medidas mitigadoras sugeridas nesse mesmo capítulo. A instalação de painéis fotovoltaicos será uma medida que aumentara o custo de construção do edifício, mas mostra-se uma medida necessária para atingir uma boa classificação LEED;
- **Alterações nos materiais utilizados:** Os materiais atualmente previstos no projeto são materiais utilizados na construção tradicional. Para que muitos dos requisitos LEED fossem cumpridos foi necessário indicar uma alteração nos materiais para que os materiais utilizados sejam escolhidos de acordo com todas as normas de segurança biológica e que sejam materiais obtidos de forma sustentável. Novamente prevê-se um aumento do valor do orçamento dado ao custo destes materiais;
- **Equipa de sustentabilidade:** Para que muitos dos parâmetros sejam cumpridos é necessário ter profissionais dedicados ao estudo, compreensão e cumprimento das alterações estabelecidas em prol da sustentabilidade. Esta equipa adicionará mais um custo ao orçamento original;
- **Instalação de aproveitamento de águas pluviais:** Foi dito que as águas pluviais seriam reutilizadas para a rega e sistema de autoclismo do edifício, assim será necessário instalar um sistema de aproveitamento de águas pluviais. Estes sistemas são complexos e dispendiosos, acrescentando um custo adicional quando comparado aos sistemas de drenagem de águas pluviais tradicionais;
- **Instalação de lugares de bicicletas;**
- **Instalação de uma parede de vidro nas zonas comuns (Sala de refeições e Sala de estar):** Esta alteração tem o propósito de aumentar a entrada de luz solar e proporcionar uma vista agradável para o jardim localizado em frente. Para que esta alteração seja possível é necessário ter vidros termicamente ‘perfeitos’ para que não haja interferência no desempenho energético com as perdas de calor. Vidros deste tipo são muito dispendiosos;
- **Alocação de um espaço dedicado a uma horta biológica:** Uma horta biológica de pelo menos 23m<sup>2</sup> será instalada no jardim. Esta horta tem o propósito de providenciar uma atividade ao ar livre para os utentes do lar. Esta alteração enquadra-se no requisito “inovação no design”;
- **Instalação de sistemas de filtragem de ar;**
- **Instalação de sistema de *sprinklers*:** A instalação de um sistema de *sprinklers* mostra-se relevante devido às alterações significativas no tipo de materiais que serão utilizados. Esta

alteração é uma medida compensatória que necessita de ser aplicada para que a SCIE seja mantida. Esta medida é bastante dispendiosa.

Com uma pontuação total de 72, obtém-se o certificado nível *Gold* ficando apenas a 8 pontos de obter o certificado *Platinum*.

Categoria	Pontos
Estaleiros sustentáveis	4
Localização e transportes	3
Eficiência hídrica	9
Energia e Atmosfera	21
Materiais e Recursos	12
Qualidade ambiental interna	14
Inovação no Design	4
Prioridade Regional	4
Processo integrador	1
<b>TOTAL</b>	<b>72</b>

Tabela 5. 2 Resumo dos pontos



Figura 5. 3 Certificado nível *Gold* (Fonte: <http://www.grupoortega.com.br/certificacao/>)

# 6

## CONCLUSÕES

### 6.1 REFLEXÕES FINAIS

Esta dissertação teve o objetivo de estudar o estado atual da sustentabilidade na SCIE, explorando materiais e técnicas construtivas sustentáveis quanto à sua perigosidade e analisando estratégias mitigadoras de perigo. Foi também analisada a legislação de SCIE portuguesa e foram propostas abordagens diferentes da abordagem atual com base na experiência noutros países. Foi abordado um estudo de caso de um projeto com o objetivo de se tornar mais sustentável ao ponto de conseguir obter uma certificação reconhecida mundialmente. Este estudo de caso levantou questões da impossibilidade do uso de materiais e tecnologias sustentáveis devido à atual regulamentação exigencial. Para além disso foi possível notar que todas as alterações em prol da sustentabilidade tinham um impacto significativo no orçamento do projeto, tornando-o muito mais caro. Questões como estas podem ser apontadas como razões para as quais ainda não existe uma migração para a construção sustentável.

Através deste estudo foi possível verificar que ainda existem muitas incertezas no que toca à integração da sustentabilidade na SCIE, sendo que é necessário continuar a estudar e testar os novos materiais que vão sendo integrados na construção civil.

É expectável que através das conclusões obtidas seja possível o avanço na integração da sustentabilidade na SCIE e que traga relevância para este tópico para que possa ser estudado mais profundamente e por profissionais de ambas as áreas.

### 6.2 LIMITAÇÕES DOS RESULTADOS DO ESTUDO

Durante a dissertação foram encontradas diversas limitações visto que este tema ainda não foi muito explorado, assim sendo não existem muitas informações e estudos que se foquem na integração da sustentabilidade na SCIE. Estas dificuldades foram evidenciadas em capítulos, como o capítulo 3.1 em que para muitos dos materiais mencionados ainda não existem medidas mitigadoras suficientes para que os mesmos sejam considerados ‘seguros’ na ótica da SCIE. O capítulo 3.2 também é um capítulo que sofre com várias limitações pois ainda não existem muitas práticas que tenham sido estudadas e sejam aprovadas como “boas práticas” a aplicar num edifício que necessite de bastantes medidas compensatórias para melhorar a sua SCIE. Já no capítulo 4 chega-se à conclusão de que a regulamentação portuguesa ainda não está preparada para que a construção sustentável seja introduzida na indústria da construção, isto porque a regulamentação atual não permite que sejam usados materiais que não cumpram com o regime exigencial atual. Consequentemente, o último capítulo em que se trata o estudo de caso, é apenas realizado em âmbito académico pois não seria possível que este projeto fosse aprovado com as alterações sustentáveis que foram sugeridas para conseguir alcançar o nível *Gold* da certificação LEED.

Conclui-se que ainda existe um longo caminho a percorrer para que seja possível aprofundar este tema.

### **6.3 LINHAS DE INVESTIGAÇÃO FUTURA**

É expectável que no futuro exista uma investigação mais profunda de todos os materiais e tecnologias sustentáveis que estão atualmente a ser integrados no mercado quanto à SCIE para que seja possível prevenir incêndios com medidas direcionadas a cada material. Se existirem alterações na legislação portuguesa de SCIE é necessário que exista novamente uma análise extensiva no que toca à aplicação de materiais sustentáveis.

Seria interessante fazer um estudo económico comparando um projeto de construção tradicional e um projeto que almeja alcançar um determinado nível de certificado LEED, visto a maior parte das medidas sustentáveis obriga a custos adicionais. No entanto, também deveria ser estudado a poupança económica que o uso de algumas tecnologias sustentáveis traz e em quantos anos seria possível obter um retorno de um investimento feito num edifício sustentável.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. McNamee and B. J. Meacham, "Conceptual Basis for a Sustainable and Fire Resilient Built Environment," *Fire Technology*, 2023/09/20 2023, doi: 10.1007/s10694-023-01490-9.
- [2] T. Liu *et al.*, "Sustainability Considerations of Green Buildings: A Detailed Overview on Current Advancements and Future Considerations," *Sustainability*, vol. 14, no. 21, p. 14393, 2022, doi: 10.3390/su142114393.
- [3] T. Liu *et al.*, "Sustainability Considerations of Green Buildings: A Detailed Overview on Current Advancements and Future Considerations," *Sustainability*, vol. 14, no. 21, 2022, doi: 10.3390/su142114393.
- [4] K. Anderson. "LEED certification: meaning and requirements." <https://greenly.earth/en-us/blog/company-guide/leed-certification-meaning-and-requirements#anchor-2> (accessed 15/05, 2024).
- [5] GBCI. "LEED em Portugal." <https://www.gbci.org/leed-em-portugal> (accessed 15/05, 2024).
- [6] ESCSI. "LEED RATING SYSTEM." <https://www.escsi.org/sustainability-without-compromise/leed-rating-system/> (accessed 15/05, 2024).
- [7] LEED. "LEED scorecard." U.S. Green Building Council. <https://www.usgbc.org/leed-tools/scorecard> (accessed 15/05, 2024).
- [8] BREEAM. "A guide to how BREEAM works." BREEAM. <https://breeam.com/about/how-breeam-works> (accessed 15/05, 2024).
- [9] O. Suzer, "Analyzing the compliance and correlation of LEED and BREEAM by conducting a criteria-based comparative analysis and evaluating dual-certified projects," *Building and Environment*, vol. 147, pp. 158-170, 2019/01/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.001>.
- [10] L. N. Dwaikat and K. N. Ali, "Green buildings cost premium: A review of empirical evidence," *Energy and Buildings*, vol. 110, pp. 396-403, 2016/01/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.021>.
- [11] X. Zhang, A. Platten, and L. Shen, "Green property development practice in China: Costs and barriers," *Building and Environment*, vol. 46, no. 11, pp. 2153-2160, 2011/11/01/ 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.04.031>.
- [12] J. Ayarkwa, D.-G. Joe Opoku, P. Antwi-Afari, and R. Y. M. Li, "Sustainable building processes' challenges and strategies: The relative important index approach," *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 7, p. 100455, 2022/04/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100455>.
- [13] "Portal CasA+." <https://portalcasamais.pt/apoios-e-incentivos/> (accessed Fev 24, 2024).
- [14] M. Gollner, A. Kimball, and T. Vecchiarelli, *Fire Safety Design and Sustainable Buildings: Challenges and Opportunities Report of a National Symposium*. 2012.
- [15] V. Lira, "A problemática das fachadas na segurança contra incêndios: uma análise após o incêndio da torre grenfell," Mestrado Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais, FEUP, 2023.
- [16] *Diário da República n.º 220/2008, Série I de 2008-11-12*, (2008, Nov. 12).
- [17] *Decreto-Lei n.º 9/2021, M. d. A. Interna*, 2021.
- [18] *Diário da República n.º 201/2019, Série I de 2019-10-18*, (2019, Out. 18).
- [19] *Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro, M. d. A. Interna*, 2008.
- [20] B. Roberts, M. Webber, and O. Ezekoye, "Why and How the Sustainable Building Community Should Embrace Fire Safety," *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, vol. 3, 12/01 2016, doi: 10.1007/s40518-016-0060-2.
- [21] B. Meacham, B. Poole, J. B. Echeverría-Trueba, and R. Cheng, *Fire Safety Challenges of Green Buildings Final Report*. 2012.
- [22] M. M. Al-Janabi, "The impact of sustainability on fire safety," Master of Building Science, Victoria University of Wellington, 2013.
- [23] J. J. M. M. Jim Tidwell, "Bridging the Gap— Fire Safety and Green Buildings," National Association of State Fire Marshals, 2010. Accessed: 30/03/2024.

- [24] P. D. Moskowitz, E. A. Coveney, S. Rabinowitz, and J. I. Barancik, "Rooftop photovoltaic arrays: Electric shock and fire health hazards," *Solar Cells*, vol. 9, no. 4, pp. 327-336, 1983/09/01/ 1983, doi: [https://doi.org/10.1016/0379-6787\(83\)90026-1](https://doi.org/10.1016/0379-6787(83)90026-1).
- [25] E. Cordeiro, "A sustentabilidade ambiental e a SCIE," ed. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2023.
- [26] A. G. C. Specialty, "FIRE HAZARDS OF PHOTOVOLTAIC (PV) SYSTEMS," in "Tech Talk." Accessed: 31/03/2024.
- [27] S. Augenstein. "Dietz & Watson warehouse blaze: solar panels hampered firefighting, officials say." NJ. [https://www.nj.com/burlington/2013/09/dietz\\_and\\_watson\\_warehouse\\_fire\\_solar\\_panels\\_mak\\_e\\_battling\\_blaze\\_much\\_harder\\_officials\\_say.html](https://www.nj.com/burlington/2013/09/dietz_and_watson_warehouse_fire_solar_panels_mak_e_battling_blaze_much_harder_officials_say.html) (accessed 31/03, 2024).
- [28] A. B. Besir and E. Cuce, "Green roofs and facades: A comprehensive review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 915-939, 2018/02/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.106>.
- [29] P. N. L. V. Borga, "ANÁLISE EXIGENCIAL DOS GREEN ROOFS – ESTUDO DE CASOS," Mestre em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.
- [30] M. Karteris, I. Theodoridou, G. Mallinis, E. Tsiros, and A. Karteris, "Towards a green sustainable strategy for Mediterranean cities: Assessing the benefits of large-scale green roofs implementation in Thessaloniki, Northern Greece, using environmental modelling, GIS and very high spatial resolution remote sensing data," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 58, pp. 510-525, 2016/05/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.098>.
- [31] R. M. e. N. Gerzhova. "Understanding the Behaviour of Fire and Green Roofs." <https://livingarchitecturemonitor.com/articles/green-roofs-fire-su21> (accessed 04/04, 2024).
- [32] Y. H. WENTING DING, TOKIYOSHI YAMADA, "Smoke Control using a Double-skin Facade ", ed. FIRE SAFETY SCIENCE–PROCEEDINGS OF THE EIGHTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 2005, p. 12.
- [33] R. M. Vega. "Porque é que o incêndio de Valência devorou 138 casas numa hora?" <https://pt.euronews.com/2024/02/23/porque-e-que-o-incendio-de-valencia-devorou-138-casas-numa-hora> (accessed 07/04, 2024).
- [34] "Cross-laminated timber (CLT)." naturally:wood. <https://www.naturallywood.com/products/cross-laminated-timber/> (accessed 18/04, 2024).
- [35] "Glue-laminated timber (glulam)." <https://www.naturallywood.com/products/glulam/> (accessed 18/04, 2024).
- [36] "Oriented strand board (OSB)." <https://www.naturallywood.com/products/oriented-strand-board/> (accessed 18/04, 2024).
- [37] D. J. Schmid, "Fire Design with Timber –Challenges and Approache," presented at the SFPE Engineering Solutions Symposium for Fire Safety and Sustainable Building Design, Ljubljana Slovenia, 2023.
- [38] T. Stelloh. "California hotel under construction catches fire, sends giant flames near major highway." <https://www.nbcnews.com/news/us-news/california-hotel-construction-catches-fire-sends-giant-flames-major-hi-rcna24172> (accessed 13/05, 2024).
- [39] "Shanghai high-rise fire: China 'to prosecute 24 people'." <https://www.bbc.com/news/world-asia-pacific-12742018> (accessed 04/04, 2024).
- [40] "What are SIPs?" <https://www.sips.org/what-are-sips> (accessed 15/04, 2024).
- [41] *Segurança contra incêndios. Terminologia. Parte 4: Equipamentos e meios de extinção de incêndios NP 3874-4: 1994*, C. C. 46, 1994.
- [42] C. Rocha. "Tudo sobre Sprinkler (Chuveiros Automáticos)." <https://www.linkedin.com/pulse/tudo-sobre-sprinkler-chuveiros-autom%C3%A1ticos-camilo-de-assump%C3%A7%C3%A3o-rocha/?originalSubdomain=pt> (accessed 24/04, 2024).

- [43] P. A. D. Trindade, "Meios de Extinção de Incêndio Sistemas Automáticos por Água " Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.
- [44] R. L. L. d. Santos, "Otimização de redes de sprinklers através de programação dynamo em revit " Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2023.
- [45] R. J. V. d. Silva, "Dimensionamento de redes de sprinklers," MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.
- [46] F. Nystedt, *Verifying Fire Safety Design in Sprinklered Buildings* (LUTVDG/TVBB-3150-SE). Lund University, Dept of Fire Safety Engineering and Systems Safety, 2011, p. 140.
- [47] I. Scientific. "OS PERIGOS DA EXPOSIÇÃO A HCN DURANTE A REVISÃO PÓS-INCÊNDIO." Industrial Scientific. Industrial Scientific (accessed 28/04, 2024).
- [48] A. C. Draegerwerk. "Understanding the Toxic Twins: HCN and CO." (accessed 28/04, 2024).
- [49] A. A. S. a. K. T. P. T RICHARD HULL, "Hydrogen Chloride in Fires " School of Forensic and Investigative Sciences  
University of Central Lancashire Centre for Fire and Hazards Science, 2008.
- [50] *Portaria n.º 1532/2008*, 2008.
- [51] E. H. R. Wagner Medella de Santana, Diego Heusi Rampinelli, "SELAGEM CORTA-FOGO NA CONSTRUÇÃO CIVIL," ed. Ignis: revista técnico científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, 2021, p. 16.
- [52] A. L. Coelho, "Que regulamentação queremos no futuro?," ed: LNEC, 2023.
- [53] ANEPC. "Geral SCIE." <https://prociv.gov.pt/pt/seguranca-contra-incendio/legislacao/geral-scie/> (accessed 13/05, 2024).
- [54] C. F. d. Castro, "Evolução da Legislação de SCIE," ed: LNEC, 2023.
- [55] D. Gayn. "Post-Grenfell fire safety regulations come into force." <https://www.building.co.uk/news/post-grenfell-fire-safety-regulations-come-into-force/5121434.article> (accessed 28/03, 2024).
- [56] "Amendments made to the Building Regulations coincide with the Grenfell anniversary." <https://www.nortonrosefulbright.com/en/knowledge/publications/f7c05748/amendments-made-to-the-building-regulations-following-the-grenfell-anniversary> (accessed 28/03, 2024).
- [57] N. Gerrard. "Grenfell: Five things that have changed five years on (and some that haven't)." <https://constructionmanagement.co.uk/grenfell-five-things-that-have-changed-five-years-on-and-some-that-havent/> (accessed 13/05, 2024).
- [58] "Fire Safety Regulations Since Grenfell: The New Regime." <https://www.skillsforhealth.org.uk/article/fire-safety-regulations-since-grenfell-the-new-regime/> (accessed 28/03, 2024).
- [59] "How has Grenfell Changed Building Regulations and Fire Safety in the UK." <https://www.governmentevents.co.uk/how-has-grenfell-changed-building-regulations-and-fire-safety-in-the-uk/> (accessed 28/03, 2024).
- [60] *Approved Document B*, H. government, 2019.
- [61] *EN 13823 Reaction to fire tests for building products - Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item*, 2020.
- [62] E. Recigases. "Como são nomeados os fluidos refrigerantes?" Recigases. <https://blog.recigases.com/blog/como-sao-nomeados-os-fluidos-refrigerantes> (accessed 22/05, 2024).
- [63] USGBC. "FILTER INNOVATION STRATEGIES." USGBC. <https://www.usgbc.org/innovationcatalog> (accessed 21/05, 2024).

