

GUIA DE PROCESSOS, PROCEDIMENTOS E ATIVIDADES DE INTERPRETAÇÃO E OPERACIONALIZAÇÃO DE CADERNOS DE ENCARGOS NA ESPECIALIDADE DE VIDRO, SUAS ESTRUTURAS PORTANTES E CAIXILHARIA

MARGARIDA NEVES PEREIRA

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

Orientadora: Professora Doutora Ana Sofia Moreira dos Santos
Guimarães Teixeira

JUNHO DE 2024

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2023/2024

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ 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

🌐 <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.

À minha avó e ao meu tio Alfredo

Porque eu sou do tamanho do que vejo e não da minha altura.

Fernando Pessoa

AGRADECIMENTOS

Com a elaboração deste trabalho fecha-se um ciclo importantíssimo na minha vida e que ajudou a moldar a minha personalidade tornando-me melhor pessoa por isso. Deste modo, tenho que agradecer a todos os que de alguma forma me ajudaram a superar todos os obstáculos que foram aparecendo e que tornaram este capítulo da minha vida o mais prazeroso possível.

Um especial agradecimento à Professora Doutora Ana Sofia Moreira dos Santos Guimarães Teixeira e ao Engenheiro Pedro Freitas, pelo acompanhamento, disponibilidade, apoio e simpatia sempre demonstrados ao longo de toda a dissertação.

À empresa Covipor, na pessoa do Diretor de mercados internacionais, Gabriel Gonçalves, e do Técnico prescritor de vidro, Gustavo Ganderela, pela prontidão na marcação da entrevista e visita à fábrica, e pela simpatia e acolhimento prestado nesse dia.

À empresa Tecnividro, na pessoa do seu gerente Pedro Coelho, pela prontidão na marcação da entrevista e pela partilha de conhecimentos e esclarecimentos prestados.

À empresa Cristallmax, na pessoa da mediadora orçamentista Rita Dinis pela prontidão na marcação da entrevista, pela partilha de conhecimentos e esclarecimentos prestados e pela simpatia e disponibilidade demonstrados.

Ao Arquiteto Tiago Carvalho pela prontidão na marcação da entrevista, pela partilha de conhecimentos e esclarecimentos prestados e pela simpatia e disponibilidade demonstrados.

À empresa Cruz de Oito, na pessoa do Engenheiro Pedro Freitas e do Engenheiro Manuel Gonçalves, pela atenção, disponibilidade, carinho, simpatia e por todo o conhecimento e informação partilhada, que em muito contribuiu para a finalização desta dissertação. Quero também agradecer pela experiência que me proporcionaram de estar a trabalhar todas as semanas, na empresa, na minha dissertação. Tenho que agradecer a forma delicada com que fui tratada sempre que estive na empresa por todas as pessoas, sempre me fizeram sentir acarinhada.

Queria agradecer o apoio dado pela Fundação Portuguesa para a Ciência e Tecnologia (subsídio PTDC/EME-REN/3460/2021).

Por fim e não menos importante, não posso deixar de agradecer a toda a minha família, em especial aos meus pais e à minha irmã, que me proporcionaram a experiência de tirar o curso dos meus sonhos e que sempre me ajudaram em todos os desafios que foram aparecendo. Quero agradecer aos meus avós, que apesar de já não estarem entre nós, me mostraram que com trabalho árduo chegamos onde quisermos. Tenho também que agradecer à Professora Elisa Mirra por todo apoio e amizade demonstrado ao longo dos anos.

RESUMO

A utilização do vidro tem registado um crescimento gradual na construção civil no último século, com várias finalidades, tais como fachadas, guarda corpos, pavimentos entre outros. Quer nas construções do passado quer nas de hoje, o vidro é usado, principalmente, pelas suas características naturais, a transparência e a luminosidade. Com o desenvolvimento de novas tecnologias de produção e novas soluções da indústria do vidro, pode-se tirar partido de novas características (conforto térmico, acústico e proteção solar) para melhorar o conforto do espaço.

O vidro é um material com boas características de durabilidade, contudo quando usado como material constituinte de fachadas, pisos ou guardas é necessário ter em conta determinados aspetos de modo a evitar patologias de projeto (erros e omissões) e/ou patologias de processo, que poderão comprometer a estética e a funcionalidade do edifício.

O principal objetivo desta dissertação é a criação de três guias interpretativos para verificação de caderno de encargos e/ou pedido de solicitação para fachadas, pavimentos e guardas em vidro, de modo a auxiliar os técnicos e/ou projetistas na análise, interpretação e elaboração de uma proposta da especialidade vidro, respeitando os regulamentos vigentes. Com estes *checklists* pretende-se contribuir para minimizar as dificuldades sentidas por parte dos técnicos na interpretação das propostas requeridas por parte dos clientes.

PALAVRAS-CHAVE: Guia de projeto vidro, prescrição vidro, fachadas em vidro, guardas em vidro, pisos em vidro.

ABSTRACT

The use of glass in construction has seen a gradual growth in civil construction over the last century, for many purposes, such as facades, balustrades, floors, among others. Whether in buildings of the past or today, glass is used mainly for its natural characteristics, transparency and luminosity. With the development of new technology of production technologies and new solutions in the glass industry, new characteristics (thermal, acoustic comfort and solar protection) can be taken advantage of to improve the comfort of the space.

Glass is a material with good durability characteristics, however when used as a constituent material for facades, floors, balustrades it is necessary to take into account certain aspects in order to avoid design pathologies (errors and omissions) and/or process pathologies, which may compromise the aesthetics and functionality of the building.

The main goal of this dissertation is the creation of three interpretative guides for checking of specifications and/or requests for facades, floors and glass balustrade, in order to assist technicians and/or designers in the analysis, interpretation and preparation of a glass specialty proposal, respecting current regulations. These checklists are intended to help minimize the difficulties experienced by technicians in interpreting the proposals required by clients.

KEYWORDS: Glass design guide, glass prescription, glass facades, glass guards, glass floors.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO E ENQUADRAMENTO DO TEMA	1
1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2. INDÚSTRIA DO VIDRO EM PORTUGAL	3
2.1. INTRODUÇÃO	3
2.1.1. ENQUADRAMENTO	3
2.1.2. O VIDRO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	5
2.2. PROPRIEDADES DOS VIDROS USADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	6
2.3. PROCESSO DE FABRICO	8
2.4. VIDRO USADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	9
2.4.1. ESTADO DO VIDRO	10
2.4.1.1. VIDRO RECOZIDO	10
2.4.1.2. VIDRO TEMPERADO	10
2.4.1.3. VIDRO TERMOENDURECIDO	11
2.4.2. TIPOS DE VIDRO	12
2.4.2.1. VIDRO LAMINADO	12
2.4.2.2. LAMINADO ESPECIAL (TERMOTRANSFORMADO)	13
2.4.2.3. UNIDADES DE ISOLAMENTO	14
2.4.3. VIDROS DE SEGURANÇA	16
2.5. TIPOS DE SISTEMAS	17
2.5.1. SISTEMAS DE FACHADAS	17
2.5.1.1. SISTEMAS DE FACHADA-CORTINA DE VIDRO EXTERIOR COLADO (VEC)	17
2.5.1.2. SISTEMAS DE FACHADA-CORTINA DE VIDRO EXTERIOR AGRAFADO (VEA)	19
2.5.1.3. SISTEMAS DE FACHADA-CORTINA DE VIDRO EXTERIOR PRESO (VEP)	20
2.5.2. SISTEMAS DE GUARDAS	21
2.5.3. SISTEMAS DE PISOS	23
2.6. SISTEMAS DE FIXAÇÃO	24
2.6.1. SISTEMAS DE LIGAÇÃO MECÂNICA	24

2.6.2. SISTEMAS DE COLAGEM.....	25
3. METODOLOGIA PARA A ELABORAÇÃO DO GUIA	27
3.1. INTRODUÇÃO.....	27
3.2. DEFINIÇÃO DO GUIA INTERPRETATIVO PARA OS DIFERENTES SISTEMAS	31
3.2.1. GUARDAS.....	31
3.2.1.1. TIPOS DE GUARDAS.....	31
3.2.1.2. CATEGORIA DE UTILIZAÇÃO.....	33
3.2.1.3. LOCALIZAÇÃO DA GUARDA (INTERIOR OU EXTERIOR)	34
3.2.1.4. DEFINIÇÃO DA DIMENSÃO DO PAINEL.....	34
3.2.1.5. CERTIFICADOS DISPONIBILIZADOS PELA MARCA	36
3.2.1.6. VERIFICAÇÃO À AÇÃO DO VENTO	38
3.2.2. PAVIMENTOS	39
3.2.2.1. CATEGORIA DE UTILIZAÇÃO.....	39
3.2.2.2. DIMENSÃO DO APOIO DO VIDRO	40
3.2.2.3. PISO INTERIOR OU EXTERIOR	41
3.2.2.4. DEFINIÇÃO DA DIMENSÃO DO VIDRO.....	43
3.2.2.5. TIPO DE MATERIAL DO APOIO (DUREZA).....	45
3.2.2.6. DIMENSÃO GLOBAL DO PISO (CARGAS ELETROSTÁTICAS)	45
3.2.3. SISTEMAS DE FACHADAS	46
3.2.3.1. DIMENSIONAMENTO AO VENTO E AO PESO PRÓPRIO.....	46
3.2.3.2. COMPORTAMENTO AO AR	56
3.2.3.3. COMPORTAMENTO À ÁGUA.....	58
3.2.3.4. COMPORTAMENTO TÉRMICO	60
3.2.3.5. SEGURANÇA.....	75
3.2.3.6. ACÚSTICA.....	77
3.2.3.7. ENSAIOS E MARCAÇÃO CE DOS SISTEMAS DE FACHADA	79
4. CONCLUSÕES.....	81
4.1. CONCLUSÕES FINAIS	81
4.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	82

ANEXO 1	87
GUIA INTERPRETATIVO PARA AS GUARDAS	87
ANEXO 2	95
GUIA INTERPRETATIVO PARA OS PISOS	95
ANEXO 3	99
GUIA INTERPRETATIVO PARA AS FACHADAS	99
ANEXO 4	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Esquema alusivo ao funcionamento do mercado da especialidade de vidro	5
Fig. 2 - Constituintes do vidro [12].....	7
Fig. 3 - Esquema de produção de vidro float [15].....	9
Fig. 4 - Padrão de fendilhação do vidro: 1) vidro recozido, 2) vidro termoendurecido, 3) vidro temperado [14]	11
Fig. 5 - Capacidade estrutural antes e após rotura (adaptado [14])	12
Fig. 6 – Vidro laminado termotransformado 8.8mm à esquerda [28] e à direita um vidro à prova de bala [29]	14
Fig. 7 - Alguns tipos de vidro [42]	16
Fig. 8 - Sistema de vidros exteriores colados (adaptado [46]).....	18
Fig. 9 - Composição do sistema de fachada VEA [48]	20
Fig. 10 - Fachada VEP [49, 50]	21
Fig. 11 - Piso de vidro da ponte de Zhangjiajie [61]	24
Fig. 12 - Representação das dimensões do apoio e do pavimento.....	41
Fig. 13 - Exemplo de como deve ser feita a leitura [66]	42
Fig. 14 - Dimensões nominais aumentadas/reduzidas pela tolerância [69].....	44
Fig. 15 - Exemplificação da ligação à terra do apoio.....	46
Fig. 16 - Configuração dos elementos numa fachada perfilada [72]	53
Fig. 17 - Proteção contra o vento em edifícios a menos de 15m [88].....	71
Fig. 18 - Proteção contra o vento em edifícios entre 15m e 30m de distância [88]	71
Fig. 19 - Representação das dimensões do apoio e apoio e do pavimento	96

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades do vidro sílico-sodo-cálcico de base [12]	8
Tabela 2 - Caracterização do vidro usado na construção	9
Tabela 3 - Tipos de vidro e respectivas referências normativas segundo Mandato 135 do LNEC (adaptado [31])	15
Tabela 4 - Tipos de sistema de vidros exteriores colados (adaptado [46])	18
Tabela 5 - Tipos de sistema de guardas (adaptado [46])	22
Tabela 6 - Questões colocadas aos 6 técnicos	28
Tabela 7 - Questões colocadas à advogada	30
Tabela 8 - Tipos de guardas abordados e respetiva fixação [62]	31
Tabela 9 - Valores característicos das cargas consoante a utilização [63]	34
Tabela 10 - Dimensões das guardas a cumprir (adaptado [51])	35
Tabela 11 - Ensaaios normativos que devem ser cumpridos [51]	36
Tabela 12 - Categorias de utilização segundo a sobrecarga a que o piso em vidro vai estar sujeito [63]	40
Tabela 13 - Dependência da largura do apoio em relação à espessura do pavimento (adaptado [52])	41
Tabela 14 - Verificação da superfície para os dois tipos de borracha (adaptado [66])	42
Tabela 15 - Primeiras cinco categorias de atrito (adaptado [66])	43
Tabela 16 - Classificação para a resistência ao deslizamento (adaptado [67])	43
Tabela 17 - Tolerâncias para o comprimento e largura nominais [70]	44
Tabela 18 - Valores máximos de d [70]	45
Tabela 19 - Categorias e parâmetros de terreno [72]	48
Tabela 20 - Deformações máximas típicas para vidro e suportes [73]	55
Tabela 21 - Valor de cálculo da pressão do vento atuante em fachadas leves com vidro [79]	56
Tabela 22 - Valores das pressões-limite (em Pa) para cada classe de permeabilidade ao ar [79]	57
Tabela 23 - Seleção da classe de permeabilidade ao ar de folhas fixas de fachadas leves [79]	58
Tabela 24 - Valores das pressões limite (em Pa) para cada classe de estanquidade à água [79]	59
Tabela 25 - Seleção da classe de estanquidade à água de folhas fixas de fachadas leves [79]	60
Tabela 26 - Intervalos de valor de R_{Nt} para edifícios de habitação [88]	69
Tabela 27 - Intervalos de valor de R_{IEE} para edifícios de comércio e serviços [88]	70
Tabela 28 - Zona climática de inverno [88]	71
Tabela 29 - Zona climática de verão [88]	72

Tabela 30 - Fração envidraçada [88].....	73
Tabela 31 - Fator de orientação [88]	75
Tabela 32 - Principais indicadores para a avaliação do DEE	75
Tabela 33 - Valores de referência para sons de condução aérea [96]	78
Tabela 34 - Resumo das normas correspondentes a cada aspeto	80
Tabela 35 – Resumo dos requisitos a cumprir para as guardas	87
Tabela 36 - Tipos de guardas abordados e respetiva fixação [62]	88
Tabela 37 - Valores característicos das cargas consoante a utilização [63]	90
Tabela 38 - Dimensões das guardas a cumprir (adaptado [51])	91
Tabela 39 - Resumo dos requisitos a cumprir para os pisos.....	95
Tabela 40 - Categorias de utilização segundo a sobrecarga a que o piso em vidro vai estar sujeito [63]	95
Tabela 41 - Dependência da largura do apoio em relação à espessura do pavimento [52]	96
Tabela 42 - – Classificação para a resistência ao deslizamento [67]	97
Tabela 43 - Tolerâncias para o comprimento e largura nominais [70].....	97
Tabela 44 - Valores máximos de d [70]	98
Tabela 45 - Resumo dos requisitos a cumprir para as fachadas	99
Tabela 46 - Deformações máximas típicas para vidro e suportes [73].....	100
Tabela 47 - Valor de cálculo da pressão do vento atuante em fachadas leves com vidro [79]	101
Tabela 48 - Valores das pressões-limite (em Pa) para cada classe de permeabilidade ao ar [79]	101
Tabela 49 - Seleção da classe de permeabilidade ao ar de folhas fixas de fachadas leves [79]	102
Tabela 50 - Valores das pressões limite (em Pa) para cada classe de estanquidade à água [79].....	102
Tabela 51 - Seleção da classe de estanquidade à água de folhas fixas de fachadas leves [79]	103
Tabela 52 - Principais indicadores para a avaliação do DEE	103
Tabela 53 - Valores de referência para sons de condução aérea [96]	105
Tabela 54 - Resumo das normas correspondentes a cada aspeto	107

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

D.L – Decreto-Lei

DO – Direção de Obra

IMPIC – Instituto dos Mercados Públicos, do Imobiliário e da Construção

EC1 – Eurocódigo 1

EN – Norma Europeia (European Standard)

prEN – Pré-Norma Europeia

ASTM – “American Society for Testing and Materials” (Norma Americana)

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NP – Norma Portuguesa

PVB – Butiral de Polivinil

SGP – (SentryGlas Plus®) Polímero de ionoplastos

EVA – etileno vinil acetato

PVC – Policloreto de vinila

PTV – derrapagem da superfície em teste

PCE – Pré-certificado energético

DEE – Desempenho energético dos edifícios

CIP – Controlo Interno da Produção

CEN – Comité Europeu de Normalização

UNE – Spanish Association for Standardization

ISO – International Organization for Standardization

HST – Heat Soak Test

NiS – Sulfuretos de níquel

VEA – Vidro exterior agrafado

VEC – Vidro exterior colado

VEP – Vidro exterior preso

SSGS – Structural Sealant Glazing System

EOTA – European Organisation for Technical Approvals

ETAG 002 – Guideline for European Technical Approval of Structural Sealant Glazing

NF – Norma Francesa

DTU – Document Technique Unifié

BS – British Standards

EPDM – Etileno-Propileno-Dieno

CSTB – Scientifique et Technique du Bâtiment

RSA – Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes

q_k – Carga linear uniformemente distribuída [KN/m]

Q_k – Carga concentrada [KN]

e – Espessura do pavimento [mm]

H – Altura de proteção [m]

h – Altura reduzida de proteção [m]

f – Deformação residual admissível [mm]

A – Distância, medida na vertical, entre a superfície superior do elemento superior da guarda e a superfície de fixação do prumo [mm]

L – distância, medida na horizontal, entre as superfícies de fixação da guarda (mm)

GD – graus-dias [°C]

F_w – força estática equivalente [KN]

$c_s c_d$ – coeficiente estrutural

c_f – coeficiente de força relativo ao elemento da construção

$q_p(z_c)$ – pressão dinâmica de pico à altura de referência z_c

A_{ref} – área de referência do elemento da construção [m²]

$c_{f,0}$ – coeficiente de força para elementos de secção retangular com arestas vivas e sem livre escoamento em torno das extremidades

ψ_r – coeficiente de redução para secções quadradas com cantos arredondados, depende do número de Reynolds

ψ_λ – coeficiente de efeitos de extremidade para elementos cujas extremidades sejam livremente contornadas pelo vento

l – comprimento do elemento [m]

b – largura do elemento [m]

$\sigma_{a,x}$ – desvio padrão da aceleração característica na direção do vento do ponto da construção situado à altura z

ρ – massa volúmica do ar [kg/m³]

$I_v(z_s)$ – intensidade de turbulência à altura $z=z_s$, acima do solo

$v_m(z_s)$ – velocidade média do vento para $z= z_s$ [m/s]

z_s – altura de referência [m]

R – raíz quadrada do coeficiente de resposta em ressonância

K_x – coeficiente adimensional

- $m_{1,x}$ – massa equivalente para o modo fundamental de vibração na direção do vento [kg]
- $n_{1,x}$ – frequência fundamental de vibração da estrutura na direção do vento
- $\phi_{1,x}(z)$ – configuração do modo fundamental de vibração na direção do vento
- PTV20 – é o valor médio da resistência à derrapagem corrigido para 20 °C, arredondado
- PTV – é o valor médio medido da resistência à derrapagem;
- ΔT – é a temperatura da borracha (20 °C)
- c_{dir} – Coeficiente de direção
- c_{season} – Coeficiente sazonal que pode variar com a estação do ano
- $v_{b,o}$ – valor básico da velocidade de referência do vento [km/h]
- v_b – valor de referência da velocidade do vento [km/h]
- $v_m(z)$ – velocidade média do vento a uma altura, z [km/h]
- $c_r(z)$ – coeficiente de rugosidade
- $c_0(z)$ – coeficiente de orografia
- k_r – coeficiente de terreno que depende do comprimento de rugosidade
- z_0 – comprimento de rugosidade
- $z_{0,II}$ – comprimento de rugosidade de um terreno s – coeficiente obtido considerando a relação z/L
- v_p – velocidade de pico [km/h]
- $q_p(z_e)$ – pressão dinâmica de pico referida à altura, z_e
- z_e – altura de referência para a pressão exterior [m]
- c_{pe} – coeficientes de pressão para pressão exterior
- $q_p(z_i)$ – pressão dinâmica de pico referida à altura, z_i
- z_i – altura de referência para a pressão interior [m]
- c_{pi} – coeficientes de pressão para pressão interior
- A_{pred} – área das aberturas na face predominante [m²]
- A_{rem} – área das aberturas nas faces não predominantes [m²]
- c_{fr} – coeficiente de atrito
- A_{fr} – área de superfície exterior paralela ao vento [m²]
- $\delta_{m\acute{a}x}$ – valor máximo da flecha [mm]
- N_{ic} – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/(m².ano)]
- $Q_{tr,i}$ – Transferência de calor por transmissão através da envolvente do edifício na estação de aquecimento [kWh/ano]
- $Q_{ve,i}$ – Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [kWh/ano]
- $Q_{gu,i}$ – Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes [kWh/ano]

A_p – Área interior útil de pavimento [m^2]

N_{vc} – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [$kWh/(m^2 \cdot ano)$]

η_v – Fator de utilização de ganhos térmicos na estação de arrefecimento

$Q_{g,v}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento [kWh/ano]

Q_a – Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS [kWh/ano]

$MAQS$ – Consumo médio diário de referência [litros]

ΔT – Aumento de temperatura necessário para a preparação das AQS, assumindo o valor de fixo de 35 $^{\circ}C$

nd – Número anual de dias de consumo de AQS, assumindo o valor fixo de 365 [dias/ano]

W_{vm} – Consumo de energia elétrica do funcionamento do ventilador [kWh/ano]

V_f – Caudal de ar médio diário escoado através do ventilador [m^3/h]

ΔP_{tot} – Diferença de pressão total no ventilador [Pa]

η_{tot} – Eficiência da unidade de ventilação baseada na pressão total

H_f – Número de horas anuais de funcionamento do ventilador [h/ano]

E_{ren} – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício [kWh/ano];

$E_{solar_{ref}}$ – Valor de referência da contribuição anual de sistemas solares térmicos para AQS [kWh/ano];

f_1 – Fator de redução relativo ao posicionamento ótimo

f_2 – Fator de redução relativo ao sombreamento

f_3 – Fator de redução relativo à idade do equipamento

AC – Área total de captação dos coletores [m^2]

G_h – Radiação solar média anual recebida numa superfície horizontal [$kWh/(m^2 \cdot ano)$]

N_{tc} – Necessidades nominais anuais de energia primária [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$]

N_{ic} – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [$kWh/(m^2 \cdot ano)$]

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k para a fonte de energia j

N_{vc} – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [$kWh/(m^2 \cdot ano)$]

$f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k para a fonte de energia j

Q_a – Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS [kWh/ano]

$f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema k para a fonte de energia j

η_k – Eficiência do sistema k para a fonte de energia j , que corresponde ao respetivo valor de E_{DEE}

$W_{vm,j}$ – Consumo de energia elétrica j do funcionamento do ventilador [kWh/ano]

$Eren,p$ – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício [kWh/ano]

A_p – Área interior útil de pavimento [m^2]

δi – Fator de anulação do consumo de energia para aquecimento

δv – Fator de anulação do consumo de energia para arrefecimento

$F_{pu,j}$ – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia j , incluindo renovável [kWh_{EP}/kWh]

$F_{pu,p}$ – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia renovável p [kWh_{EP}/kWh]

R_{Nt} – Rácio de classe energética em edifícios de habitação

N_{tc} – Necessidades nominais anuais de energia primária [kWh_{EP}/(m^2 .ano)]

N_t – Necessidades nominais anuais de energia primária de referência [kWh_{EP}/(m^2 .ano)]

N_i – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência [kWh/(m^2 .ano)]

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k de referência para a fonte de energia j

N_v – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de referência [kWh/(m^2 .ano)]

$f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k de referência para a fonte de energia j

Q_{aref} – Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS de referência [kWh/ano]

$f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema k de referência para a fonte de energia j

$\eta_{ref,k}$ – Eficiência de referência do sistema k

A_p – Área interior útil de pavimento [m^2]

$F_{pu,j}$ – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia j , excluindo renovável [kWh_{EP}/kWh]

R_{IEE} – Rácio de classe energética em edifícios de comércio e serviços

$IEE_{pr,S}$ – Indicador de eficiência energética previsto do tipo S [kWh_{EP}/(m^2 .ano)];

$IEE_{pr,ren}$ – Indicador de eficiência energética previsto renovável [kWh_{EP}/(m^2 .ano)];

$IEE_{ref,S}$ – Indicador de eficiência energética de referência do tipo S [kWh_{EP}/(m^2 .ano)]

U – Coeficiente de transmissão térmica [$W/(m^2.K)$]

h_e – coeficiente superficial exterior de transmissão de calor [$W/(m^2.K)$]

h_i – coeficiente superficial interior de transmissão de calor [$W/(m^2.K)$]

h_t – condutância térmica total do envidraçado [$W/(m^2.K)$]

h_s – condutância térmica de cada camada de gás [$W/(m^2.K)$]

N – número de espaços

d_j – espessura de cada camada de material [m]

r_j – resistividade térmica de cada material [m.K/W]

M – número de camadas de material

h_r – condutância por radiação [W/(m².K)]

h_c – condutância por convecção [W/(m².K)]

F_g – Fração envidraçada

$g_{\perp,vi}$ – Fator solar da área transparente para uma incidência da radiação perpendicular ao vão envidraçado

F_s – Fator de obstrução solar

F_h – Fator de sombreamento do horizonte, devido a elementos opacos exteriores ao edifício ou do mesmo

F_o – Fator de sombreamento de elementos opacos horizontais, designadamente, palas e varandas, sobrejacentes ao vão envidraçado

F_f – Fator de sombreamento de elementos opacos verticais, designadamente, palas e outros corpos ou partes de um edifício, adjacentes ao vão envidraçado

X_j – Fator de orientação

z_{REF} – Altitude de referência do local [km]

z – Altitude do edifício [km]

1

INTRODUÇÃO

1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO E ENQUADRAMENTO DO TEMA

A presente dissertação tem como principal objetivo apresentar uma metodologia de verificação de caderno de encargos e/ou pedido de solicitação da especialidade de vidro em Portugal. Focada, exclusivamente, na análise e interpretação do projeto que chega aos técnicos e instaladores vidreiros, saindo fora do âmbito desta dissertação todo o trabalho de projeto das guardas, pisos e fachadas, que deve ser previamente executado.

A metodologia desenvolvida foi sintetizada em três guias interpretativos para cada sistema abordado, tendo como principal função auxiliar, de forma prática, as diversas entidades envolvidas desde o projeto à execução de fachadas, pisos e guardas envidraçadas.

A diretriz de desenvolvimento da presente análise envolveu um conjunto de etapas, identificadas de seguida:

- Revisão sistemática de literatura científica;
- Caracterização e análise de vários tipos de vidro e respetivas ligações;
- Caracterização e análise do sistema construtivo de fachadas-cortina, pisos e guardas em vidro;
- Desenvolvimento de uma metodologia para a verificação de caderno de encargos e/ou pedido de solicitação da especialidade de vidro em Portugal;
- Elaboração de guias interpretativos para os três sistemas abordados.

Complementarmente, foram efetuadas algumas entrevistas a especialistas da área, com intuito de complementar a metodologia de verificação de caderno de encargos e/ou pedido de solicitação, mas também de modo a conhecer a opinião e principais dificuldades sentidas pelas diversas entidades envolvidas num projeto da especialidade, e assim conhecer quais as principais práticas adotadas.

1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se dividida em quatro capítulos.

No primeiro e presente capítulo, procura-se fazer uma introdução do tema abordado na dissertação, indicando a finalidade do trabalho desenvolvido. É também apresentada uma síntese dos conteúdos abordados em cada um dos capítulos.

No segundo capítulo são descritas detalhadamente as propriedades químicas, físicas e mecânicas do vidro, respetivo processo de fabrico e alguns tipos de vidro produzidos. São descritos os principais sistemas de fachadas-cortina, pisos e guardas em vidro. Também são descritos e detalhados os processos construtivos associados a cada tipo de sistema abordado. São igualmente caracterizados e analisados alguns métodos ou sistemas de fixação e ligação para painéis de vidro.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia de verificação de caderno de encargos e/ou pedido de solicitação para os três sistemas abordados. A metodologia apresentada tem como objetivo auxiliar os técnicos e/ou projetistas quer numa fase inicial de projeto, quer numa fase final. Os guias interpretativos, tipo *checklist*, foram criados com um objetivo final de poderem ser consultados por qualquer pessoa (estando ou não por dentro da especialidade vidro), daí possuírem uma organização e linguagem acessíveis. Para cada sistema deve ser cumprido o que está estabelecido na legenda de cada guia.

Por fim, no quarto e último capítulo são apresentadas as conclusões mais relevantes e perspetivas de desenvolvimentos futuros.

2

INDÚSTRIA DO VIDRO EM PORTUGAL

2.1. INTRODUÇÃO

2.1.1. ENQUADRAMENTO

Em Portugal, em comparação com outros materiais de construção, a regulamentação existente para o dimensionamento/projeto na especialidade do vidro é escassa, dispersa em tópicos e com vazios temáticos. Todavia existe uma compilação normativa direcionada aos produtos em vidro, e a sua certificação que estabelecem pontos de controlo de medição, garantindo aos produtores a emissão de declaração de desempenho e marcação CE, assim como normas de ensaio que por vezes são verificação do desempenho mínimo dos produtos que garantem a respetiva marcação CE que, asseguram a qualidade dos vários tipos de vidro usados na construção civil [1].

Contudo, não existe uma matriz de pensamento baseado em normas, regulamentos e boas práticas que garantam um guia de projeto/dimensionamento e ou execução.

Esta dispersão de linguagem, norma e não norma, boas práticas ou más práticas, induz a um mercado desregulado com uma interpretação de senso comum e da experiência dos intervenientes. Sabe-se porém que o mercado está em enriquecimento técnico, existindo técnicos e organizações que se esforçam e dedicam, garantindo que as soluções que apresentam ou solicitam (dependendo do caso) sejam as melhores com garantia de desempenho otimizado, salvaguardando os interesses do Dono de Obra.

Por esta razão, existe uma dificuldade de comunicação/validação das soluções previstas nos diferentes Cadernos de Encargos, recorrendo-se por vezes a normas internacionais. À data atual, não existe nenhum eurocódigo que crie a compilação de regras que oriente os técnicos para o correto dimensionamento do vidro e os vários aspetos relacionados com o mesmo. Por isso cada interlocutor (dono de obra, arquiteto, construtor, instalador vidreiro,...) faz a sua interpretação da legislação vigente e organiza o caderno de encargos ou planos de produção, na melhor configuração possível. Este eurocódigo já está a ser elaborado, entre o Comité Europeu de Normalização (CEN) e a Comissão Europeia [2], sendo relativo a regras de projeto de elementos estruturais de vidro, podendo este novo documento em compilação com os demais regulamentos vigentes, contribuir de forma decisiva para uma matriz de projeto e dimensionamento.

Além da compilação normativa necessária, o contributo dos técnicos é crucial para o resultado final. Segundo a Lei 40/2015 [3] e a Lei 41/2015 [4], o vidro não é considerado uma especialidade, logo, não é exigido um caderno de encargos, peças desenhadas e escritas relativas ao vidro e às suas estruturas portantes, retificado por termo de responsabilidade dos técnicos que dimensionam e prescrevem as demais obras em vidro, o que leva a que a prescrição do vidro e respetiva estrutura portante, presente nos cadernos de encargos ou pedidos de cotação que chega aos instaladores vidreiros, não respeite os requisitos técnicos mínimos. A Fig. 1 faz o resumo do descrito, tentou-se explorar as duas fases pelo qual uma obra passa, a fase de projeto e a fase de execução, e tentou-se localizar em que fase do processo se encontra a especialidade de vidro.

Conseguir perceber como o mercado atua foi uma das maiores dificuldades na realização desta dissertação, pelo que se achou por demais importante ter um contacto com alguns dos intervenientes, perceber as suas realidades, para assim se poder interpretar a indústria e seus modos operantes. Para tal e como oportunidade foram entrevistados alguns desses intervenientes. Era essencial, com estas entrevistas, tirar algumas conclusões sobre o mercado do vidro. Com base nas entrevistas realizadas, concluiu-se que o caderno de encargos recebido pelos técnicos está, frequentemente, mal elaborado. Não estão definidos nem os requisitos do cliente nem os requisitos técnicos mínimos, principalmente, em obras de pequena e média dimensões. Normalmente, verifica-se que, na elaboração do caderno de encargos, as soluções construtivas vêm mal dimensionadas, não houve o cuidado de realizar uma análise térmica, acústica ou ao nível da segurança e o vidro não foi bem prescrito. Não deve ser descurado o facto de que o dono de obra vai “viver” no local do projeto, como habitação, local de trabalho ou lazer e, por isso, devem ser salvaguardadas as mínimas condições de habitabilidade e utilização, evitando patologias de projeto, tais como; desempenho térmico inadequado, a garantia de segurança em fenómenos pós-quebra, desempenho acústico, entre outros aspetos técnicos relevantes. É importante que as soluções estudadas não sejam sobredimensionadas (mesmo estando por vezes do lado da segurança) porque, o vidro por si só, é um material com valores financeiros elevados, comparativamente com outros materiais, e ao ser prescrita uma solução sobredimensionada, o preço também vai ser inerentemente mais elevado do que a solução otimizada, levando a uma desorganização no valor de negócio. Mas também não devem as soluções estudadas serem subdimensionadas, más prescrições de vidro para além de levarem a fracos desempenhos mecânicos, térmicos e acústicos, podem conduzir a danos e/ou acidentes para o utilizador, havendo até registo de alguns mortais.

Por estas razões, é considerada uma oportunidade para o setor a existência de uma matriz de pensamento que ajude os técnicos a verificar se o descrito no projeto e a prescrição que estão a realizar ou interpretar seja materializada numa verificação primária, onde seja salvaguardado o desempenho mínimo da solução, orientando os técnicos em pontos de verificação e reflexão. **A criação de um guião de análise que avalize uma correta elaboração de um caderno de encargos é o objetivo final desta dissertação.**

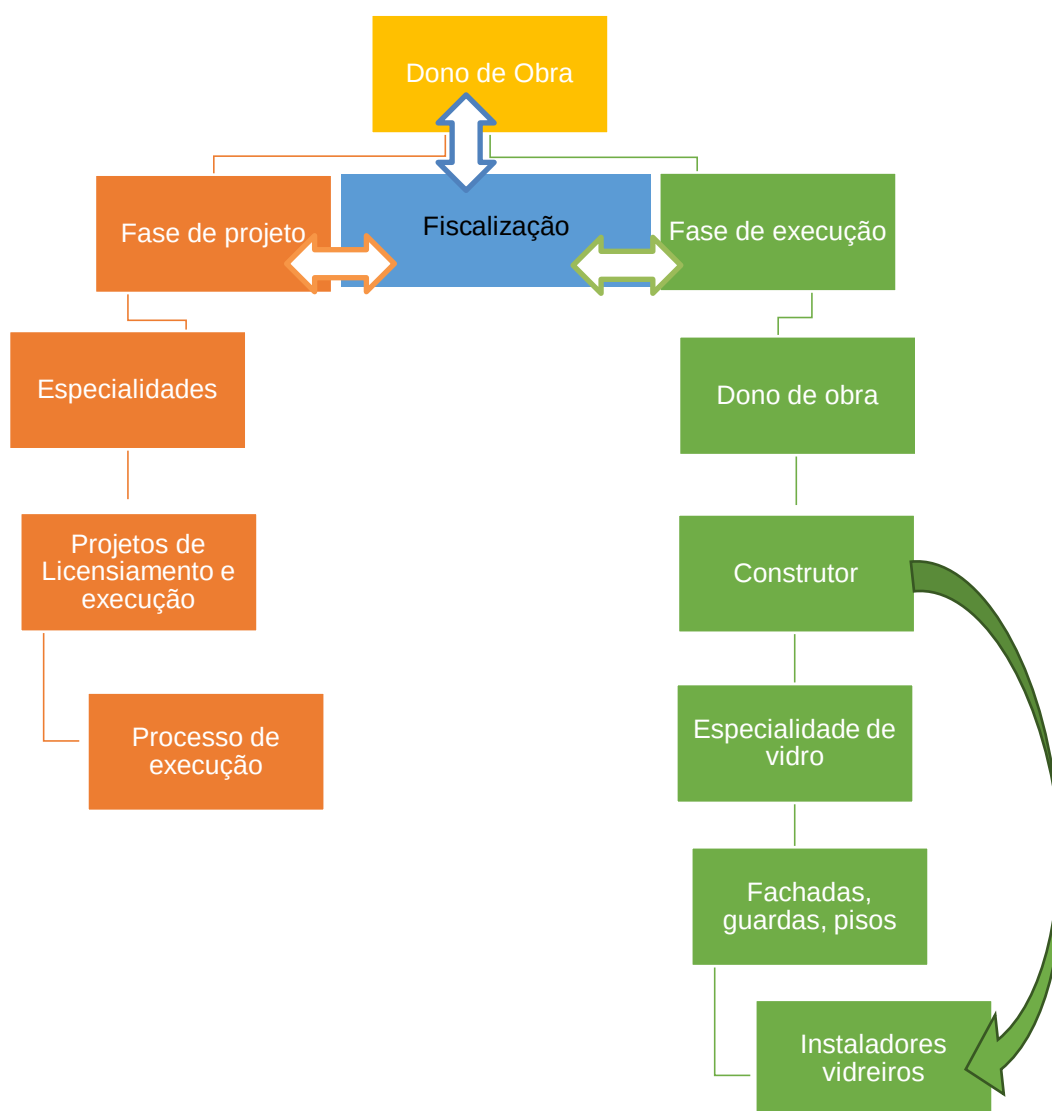


Fig. 1 - Esquema alusivo ao funcionamento do mercado da especialidade de vidro

2.1.2. O VIDRO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

Na arquitetura contemporânea há uma procura crescente por transparência [5]. O vidro é visto como um material inovador e versátil; apesar de ser considerado um material tradicional de construção, oferece às construções atuais um aspeto de requinte e sofisticação. O vidro era (e ainda é) usualmente considerado um material frágil mas, graças à inovação no seu processo de fabrico e tratamentos de reforço a que é sujeito aquando da sua produção, tornam-no num material com um potencial operacional de elevado desempenho quando corretamente dimensionado, transformado e instalado [6] [7].

É assim possível, atualmente, concluir projetos cada vez mais arrojados, onde o vidro toma formas pouco convencionais e é submetido a esforços que, até então, se pensavam inatingíveis [6].

A aplicação do vidro na construção tem sofrido um desenvolvimento crescente nos últimos anos, com a aplicação de vidros com propriedades reforçadas de isolamento térmico, controlo solar, isolamento sonoro, tendo proporcionado a aplicação de envidraçados de dimensão cada vez de maior [8].

Nos dias de hoje, é de notar o aumento da consciencialização da sociedade para as temáticas da sustentabilidade e do ambiente e a aplicação do vidro, de forma mais regular, é uma solução alternativa à problemática do elevado consumo energético, quer ao nível da iluminação artificial quer ao nível da utilização de equipamentos mecânicos para aquecimento [9]. Potenciando as virtudes do material, como a sua leveza estética, a sua transparência, possibilitar a iluminação natural do interior do edificado, garantindo um comportamento térmico eficiente e o facto de ser 100% reciclável contribui para uma redução dos gastos energéticos e rentabilização dos recursos disponíveis. De salientar que, a aplicação de vidro em edifícios, exige um maior rigor quer de execução, quer de responsabilidade (também civil) na sua utilização em comparação com outras áreas, nomeadamente nas artes plásticas [10].

Atualmente, continua a ser um desafio projetar estruturas com grandes áreas envidraçadas. Apesar do potencial que o material tem, ainda existe uma escassez de informação relativamente ao dimensionamento do vidro e suas estruturas portantes em edifícios, não permitindo tirar partido de todas as potencialidades que o material tem. **O objetivo desta dissertação é contribuir para colmatar esta insuficiência de documentação/legislação técnica de modo, a facilitar a prescrição do melhor vidro para os diferentes sistemas presentes na construção civil em Portugal.** A legislação existe, apenas é necessário compilar e preencher lacunas para o dimensionamento de edifícios que utilizem o vidro como parte integrante da sua estrutura, salvaguardando a qualidade do vidro produzido pelas empresas vidreiras [6].

2.2. PROPRIEDADES DOS VIDROS USADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dado considerar-se que o vidro está no “estado vítreo”, caracterizado pela sua estrutura amorfa, faz com que seja considerado um produto inorgânico fundido, que arrefeceu até ter atingido um estado rígido sem contudo cristalizar [10]. Esta matéria vítrea assemelha-se aos líquidos sendo o resultado de uma mudança reversível na viscosidade da matéria durante o arrefecimento, que endurece posteriormente [11]. Geralmente as matérias primas utilizadas no fabrico do vidro são divididas em três grupos, de acordo com o papel que desempenham, vitrificantes (sílica, sob a forma de dióxido de silício (SiO_2), sendo que é o principal componente do vidro), fundentes (normalmente de carácter sódico ou potássico, servindo para favorecer a formação do material e baixar a temperatura de fusão) e matérias secundárias (ou estabilizantes, que conferem dureza à matéria vítrea tendo normalmente carácter cálcico) [11]. Portanto, o vidro é classificado como um material inorgânico, amorfo e homogéneo, obtido por arrefecimento de uma massa em fusão que endurece pelo aumento da viscosidade até atingir a condição de rigidez, mas sem sofrer cristalização.

Na construção civil, de entre os vários tipos de vidro, o mais utilizado é o vidro de silicatos (sílico-soda-cálcico) [8], obtido por meio do sistema float. Segundo a norma europeia EN 572-1:2012+A1:2016 [12], este tipo de vidro é constituído quimicamente pelos materiais e proporções, apresentados na Fig. 2. Ainda existe o vidro de boro silicatos que, é o segundo mais utilizado na construção, não é utilizado mais vezes dado o seu elevado custo. Em virtude da sua composição (boro e potássio) é um vidro muito resistente às diferenças de temperatura e aos ataques químicos [6].

As propriedades do vidro variam de acordo com a sua composição química que, por sua vez, condiciona as suas características mecânicas (exemplificadas na Tabela 1). As variações da concentração dos componentes podem provocar algumas mudanças estruturais no vidro, como por exemplo, uma maior quantidade de alumina faz aumentar a resistência mecânica do vidro [7]. Já para conferir estabilidade contra ataques de agentes atmosféricos, deve-se aumentar a concentração de cálcio. A partir do momento

em que se altera a concentração de determinado constituinte, também se deve fazer variar a concentração do resto dos constituintes para que, no final a soma dos óxidos seja igual a 100%.

A mais importante característica do vidro é a sua transparência. Possibilita a passagem da luz visível, o que permite o aquecimento do espaço interior que o vidro protege, mas impossibilita a passagem desse mesmo calor para o exterior, dando origem ao principal problema ambiental associado ao vidro: o efeito de estufa [8].

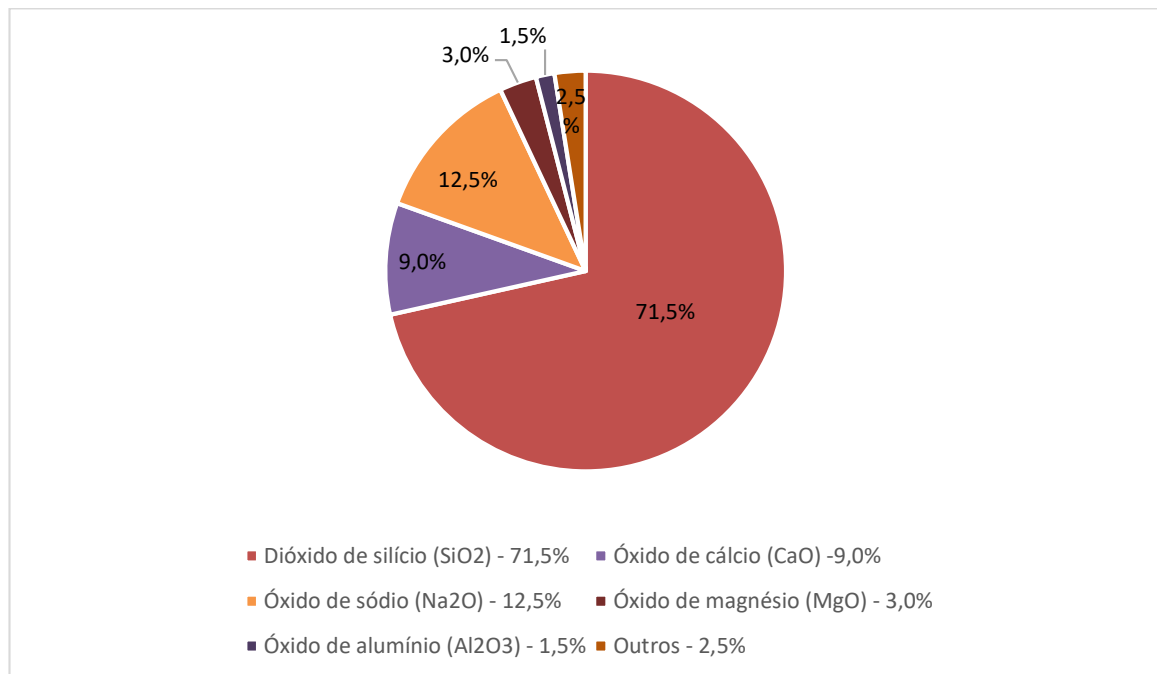


Fig. 2 - Constituintes do vidro [12]

O vidro é um material com comportamento elástico, nunca apresentando deformações permanentes e com uma rotura frágil semelhante à do betão. Esta fragilidade encontra-se essencialmente relacionada com os defeitos existentes ao nível da superfície (falhas microscópicas na superfície) que, por sua vez, decorrem de limitações existentes ao nível do processo de fabrico e se traduzem numa redução do valor da tensão de rotura em comparação com o valor teórico. A tensão de rotura teórica do vidro é elevada e pode atingir os 32 GPa. Sendo assim, a tensão de rotura do vidro não é constante e depende de muitos aspetos como a condição e tamanho da superfície do painel de vidro, intensidade e duração do carregamento, tensões residuais e condições ambientais [8].

Comparando o vidro com outros materiais comuns na construção, pode-se concluir que tem um peso específico aproximadamente igual ao do betão mas, uma rigidez mais elevada. Já em relação ao aço, tem valores inferiores relativamente às propriedades mencionadas [13].

Tabela 1 - Propriedades do vidro sílico-sodo-cálcico de base [12]

Propriedades	Valores para vidro sílico-sodo-cálcico
Massa volúmica (ρ)	2500 Kg/m ³
Módulo de young (E)	7*10 ¹⁰ Pa
Coefficiente de Poisson (ν)	0.2
Coefficiente de expansão térmica (αT)	9×10 ⁻⁶ m/m/K
Resistência à compressão	800 Mpa
Resistência à tração	45 Mpa
Resistência à flexão	40 Mpa

2.3. PROCESSO DE FABRICO

Apesar do processo de fabrico do vidro variar em função da sua aplicação final, as seguintes três etapas são sempre seguidas: fusão da matéria-prima; enformação (moldagem) e arrefecimento. Hoje em dia 90% do vidro existente no mundo é fabricado através do processo de flutuação (floating) e por isso vai ser este o processo aprofundado a seguir [14].

O processo de fabrico do vidro inicia-se com a introdução de todos os elementos da mistura (também se adiciona cerca de 20% de vidro moído (casco) para baixar a temperatura de fusão e humidifica-se a mistura para evitar a segregação dos grãos dos diferentes componentes e a libertação de poeiras) que vão dar origem ao vidro num forno de altas temperaturas, a uma temperatura superior a 1550°C onde entra em fusão, até se tornar num fluído viscoso [14]. De seguida, a mistura obtida é continuamente escoada a cerca de 1000°C para dentro de um tanque de estanho fundido onde arrefecerá gradualmente (é usado o estanho porque é mais denso que o vidro, e assim o vidro “flutua” e também se mantém no estado líquido a temperaturas elevadas).

Seguidamente entra na etapa de arrefecimento ou recozimento, em que o vidro é puxado pelos rolos mecânicos para o forno de recozimento, onde a temperatura é de aproximadamente 600°C. No forno de recozimento o vidro é lentamente e uniformemente arrefecido de modo a prevenir o aparecimento de tensões residuais internas, que mais tarde poderiam provocar a quebra do mesmo quando este fosse cortado ou perfurado. A velocidade com que o vidro é puxado do banho determina a sua espessura, isto é, quanto mais rápido for puxado mais fino ele vai ser e vice-versa [14].

Por fim, é arrefecido, já em contacto com a atmosfera, e posteriormente cortado já que, se trata de um processo contínuo.

O “processo de flutuação” tem como consequência o facto de as duas faces do vidro terem resistências mecânicas distintas, uma delas é ligeiramente menos resistente. A causa disto pode ser atribuída ao banho de estanho, que deixa iões de estanho numa das faces do vidro, ou ainda às fendas microscópicas que são causadas pelos rolos em que os vidros deslizam [14].

Antes de se proceder ao corte nas dimensões padronizadas é possível aplicar capas ou revestimentos com o intuito de melhorar as qualidades óticas ou físicas do vidro (do inglês coating). Na Fig. 3 é esquematizada a linha de produção de vidro “float”.

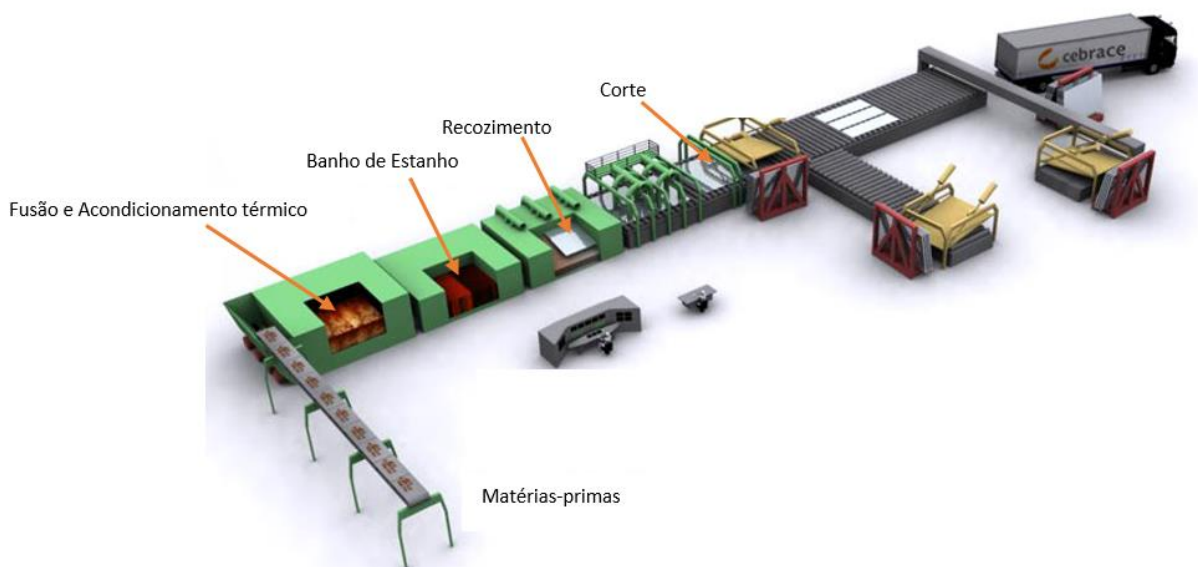


Fig. 3 - Esquema de produção de vidro float [15]

2.4. VIDRO USADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

De seguida vai-se proceder à caracterização do vidro usado na construção civil (Tabela 2), primeiro caracterizado quanto ao estado e depois indicando alguns dos tipos de vidro mais usados.

Tabela 2 - Caracterização do vidro usado na construção

Estado	Tipo	Espessura (mm) (*)	Cor	De segurança
Recozido	Simples (Float)	4	Incolor	Laminado
Temperado	Temperado	5	Extraclaro	Temperado
Termoendurecido	Laminado	6	Verde	
...	Laminado Especial (Termotransformado)	8	Bronze	
	Isolante	10	...	
		12		
		15		
		19		

(*) o vidro usado na construção civil considera como espessura mínima o vidro de 4 mm, contudo surge uma exceção que permite o uso de vidro de 3 mm, apenas e quando este é parte componente de um vidro laminado. Vidro laminado 3.3/1, ou vidro laminado 3.3/2.

2.4.1. ESTADO DO VIDRO

2.4.1.1. VIDRO RECOZIDO

A norma portuguesa referente ao vidro recozido é a EN 572-1:2012+A1:2016 [12].

O vidro recozido obtém-se sujeitando o vidro comum a um arrefecimento lento e controlado (recozimento), que liberta as tensões residuais que possam existir, facilitando posteriores operações de manufatura. Não pode ser utilizado em aplicações estruturais, dado que apresenta uma tensão de rotura relativamente incerta e frágil, apresenta uma fendilhação padrão com fragmentos de grandes dimensões e com arestas cortantes, sendo, frequentemente, sujeito a tratamentos para melhorar as suas propriedades físicas e o seu desempenho mecânico de forma a aumentar a segurança na pós-rotura. Anteriormente a estes tratamentos, existem também os processos mecânicos como o corte, a furação (para efeitos de ligação), e o tratamento de arestas e polimento [16].

Contudo deve ser referido que o vidro “float” é a base de transformação de todos os demais vidros.

2.4.1.2. VIDRO TEMPERADO

A norma portuguesa referente ao vidro sílico-sodo-cálcico temperado é a NP EN 12150-2:2010 [17], para o vidro silicato soda cálcico temperado é a NP EN 14179-2:2008 [18], para o vidro borossilicatado temperado é a NP EN 13024-2:2010 [19] e para o vidro silicato alcalinoterroso temperado é a NP EN 14321-2:2008 [20], sendo que os últimos dois não são usados na construção civil.

O vidro temperado é um vidro base/float que foi sujeito a um tratamento térmico destinado a aumentar a sua resistência mecânica e a alterar o seu comportamento pós quebra, face ao vidro recozido. O aumento de resistência é conseguido graças a dois tipos de tratamento distintos, originando também dois tipos de vidros temperados diferentes: vidro temperado termicamente ou vidro temperado quimicamente. Na construção civil o vidro que é maioritariamente usado é o vidro temperado termicamente sendo, o vidro temperado quimicamente um material muito dispendioso mas com elevada resistência mecânica (350 MPa) [6].

O vidro temperado termicamente é um vidro float que é sujeito a um processo de têmpera que, consiste em aquecer o vidro até uma temperatura de 600 a 650°C e submetê-lo a um arrefecimento brusco com recurso a jatos de ar, fazendo com que a superfície do vidro arrefeça mais rapidamente que o interior, de forma a aumentar a sua resistência mecânica (tensões de compressão na superfície do vidro de cerca de 90 MPa e tensões de tração na zona interior do vidro) e a alterar o tipo de fragmentação após a rotura [8].

Segundo a norma EN 12150-2 [17], a tensão de rotura à flexão para o vidro temperado termicamente é de 125 MPa, sendo que o vidro recozido toma como valor para a mesma tensão 41 MPa, muito inferior ao temperado.

A resistência do vidro temperado é significativamente maior que a do vidro recozido, o que é um bom ponto de partida para que este seja colocado num local onde a probabilidade de impacto no vidro seja elevada. Apesar de ter como vantagem o facto de quando ocorre rotura, a fragmentação do vidro originar

pedaços de pequena dimensão e pouco afiados (salienta-se que, devido às tensões de compressão instaladas na superfície, podem ainda cair pedaços de vidro agregados de dimensão significativa [8]), minimizando os riscos de causar danos graves ao utilizador (vidro de segurança), também é este facto que reduz a sua estabilidade, aumentando a probabilidade deste cair da sua posição [21]. O facto de apenas se poder efetuar cortes ou perfurações depois de fabricado e antes da têmpera, torna-se uma desvantagem.

Um outro problema associado à utilização do vidro temperado consiste no risco de ocorrer rotura espontânea, associada ao facto de a mistura de vidro conter impurezas, nomeadamente, sulfuretos de níquel (NiS). Para evitar e minimizar este fenómeno, os vidros devem ser submetidos ao chamado Heat Soak Test (HST). Segundo a norma NP EN 14179-1 [22], é previsível uma rotura por cada 400 toneladas de vidro temperado com o HST [22], também é referido que é impossível garantir a ausência de roturas devido aos sulfuretos de níquel. É imprescindível, a realização deste teste, quando estamos perante sistemas sem gola ou em situações em que a substituição do vidro seja complexa ou demorada (por exemplo, fachadas com sistema VEC, vai ser abordado no ponto 2.5.1.1).

2.4.1.3. VIDRO TERMOENDURECIDO

A norma portuguesa referente ao vidro sílico-sodo-cálcico endurecido termicamente, é a NP EN 1863-2:2010 [23] e para o vidro sílico soda cálcico endurecido quimicamente é a NP EN 12337-2:2010 [24].

O vidro termoendurecido foi desenvolvido no sentido de dar resposta aos problemas associados à rotura espontânea do vidro temperado e à necessidade de obter vidros com elevada resistência ao choque térmico [8]. É obtido por um processo idêntico ao do vidro temperado, mas com um arrefecimento mais lento, sendo que as tensões instaladas de compressão na superfície do vidro são da ordem dos 30 a 60 MPa. Devido a esse processo de arrefecimento mais lento o risco de inclusões críticas de NiS é mais reduzido, pelo que, dispensa-se a realização do HST, e é obtido um vidro com uma resistência mecânica superior à do vidro recozido, que resiste a diferenças de temperatura de 100°C [8].

A rotura do vidro termoendurecido assemelha-se à do vidro recozido (menor estado de tensões internas [8]), pelo que pode causar ferimentos graves nas pessoas, logo não é considerado um vidro de segurança (exemplificadas os padrões de fendilhação dos vidros recozido, termoendurecido e temperado na Fig. 4). Tal como o vidro temperado, este tipo de vidro também não pode ser cortado ou perfurado após o seu fabrico.

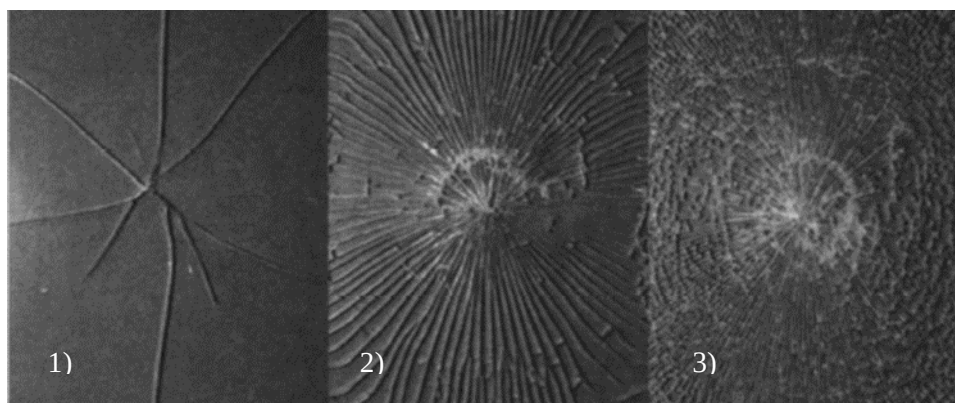


Fig. 4 - Padrão de fendilhação do vidro: 1) vidro recozido, 2) vidro termoendurecido, 3) vidro temperado [14]

2.4.2. TIPOS DE VIDRO

2.4.2.1. VIDRO LAMINADO

As normas referentes ao vidro laminado e laminado de segurança são a NP EN 14449:2008 [25] e a EN ISO 12543-1:2021 [26] .

O vidro laminado é constituído por duas ou mais folhas de vidro que, podem ser do mesmo tipo ou de tipos diferentes, “coladas” com um intercalar transparente e viscoelástico (constituído por uma ou mais películas de material sintético, resina ou gel [8]) [6]. O material mais utilizado como intercalar é o polivinil butiral (PVB), podem-lhe ser atribuídas várias funções, nomeadamente, prevenir a queda de fragmentos de vidro, melhorar o isolamento sonoro, a segurança contra incêndio, a segurança contra armas de fogo, arrombamento, etc [8].

O vidro laminado tem muitas vantagens, mas o principal efeito da laminação é controlar o comportamento pós quebra [6]. Em caso de quebra, o intercalar permite que os estilhaços das lâminas afetadas se mantenham no sítio, evitando a sua queda e possíveis ferimentos em pessoas [21] criando, com o painel não quebrado, um “efeito de arco” acabando por ter ainda alguma resistência mecânica (capacidade antes e pós quebra exemplificada na Fig. 5). Por esta razão, este vidro é considerado um vidro de segurança.

É mais vantajoso laminar um vidro temperado juntamente com um vidro recozido porque, um vidro temperado tem maior resistência antes da quebra e a capacidade de o vidro criar o “efeito de arco” está diretamente ligada com a intensidade do processo de têmpera já que, quanto maiores os estilhaços (vidro recozido), mais fácil é a formação do “efeito de arco” [6].

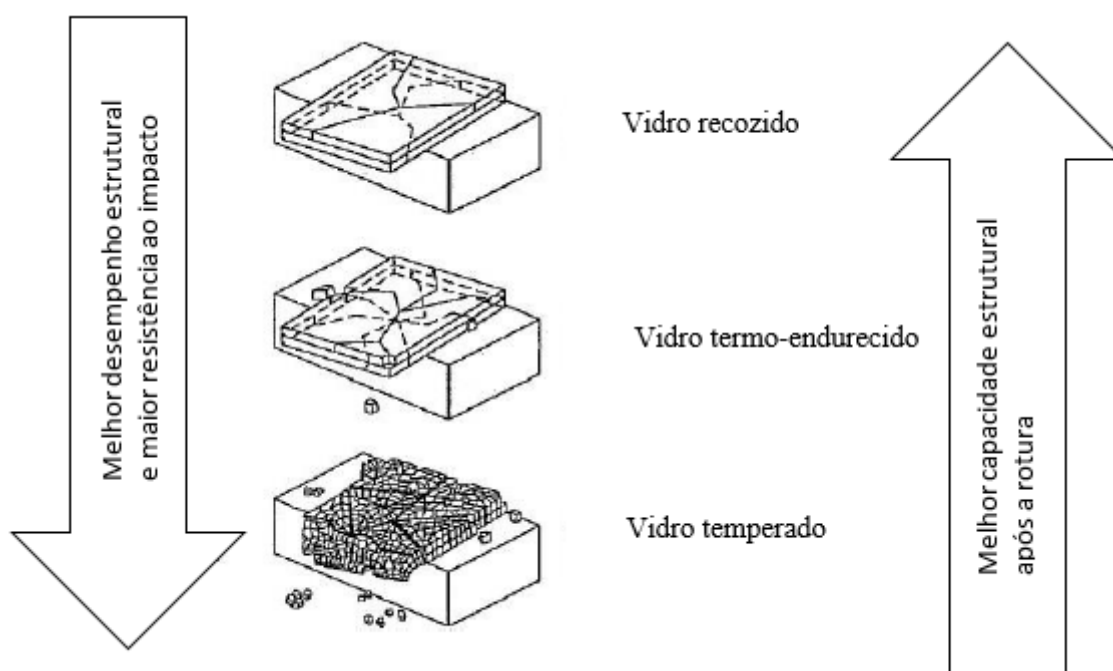


Fig. 5 - Capacidade estrutural antes e após rotura (adaptado [14])

2.4.2.2. LAMINADO ESPECIAL (TERMOTRANSFORMADO)

O vidro laminado especial ou termotransformado é um vidro polilítico (laminado) constituído por duas ou mais lâminas de vidro que podem ser do mesmo tipo ou de tipos diferentes, unidas com um intercalar transparente e viscoelástico. Na produção de vidros laminados especiais (segunda linha de produção, indústria de transformação vidreira) são usados outros tipos de vidros transformados previamente; tais como; vidros recozidos, vidros temperados, vidros termoendurecido, conforme as necessidades técnicas e as necessidades do cliente. Podem ser considerados vidros laminados especiais os vidros à prova de bala (certificados em Portugal por ensaio balístico, exemplo na Fig. 6), os vidros laminados com 2 componentes de temperados e vidros laminados com componente temperado mais componente termoendurecido (utilizados nas guardas), os triplos laminados/vidros estruturais (usados nos pisos, glass fin's e óculos de piscinas), os vidros decorativos e os vidros corta fogo (sendo que, muitas vezes, têm que ter outros constituintes para além do intercalar) e todas as demais composições que por necessidade técnica ou do cliente se demonstrem necessárias e/ou possíveis de produzir. Os vidros termotransformados devem cumprir determinados requisitos de forma a suportarem as ações a que vão estar sujeitos, dependendo do tipo de utilização.

O vidro laminado especial pode ter como intercalar o Sentryglas Plus (SGP), o intercalar etileno vinil acetato (EVA), o intercalar PVB, entre outros. O intercalar PVB é o mais utilizado e o EVA é, frequentemente, utilizado em vidros decorativos. O intercalar SGP é cem vezes mais rijo e cinco vezes mais forte que outros materiais de laminação, designadamente o PVB por isso pode ser usado em laminados com espessuras inferiores [27]. Este tipo de intercalar é aconselhado para vidros laminados sujeitos a solicitações extremas, tempestades, fortes impactos, segurança acrescida, etc.

O vidro termotransformado é usado em situações muito específicas, conduzindo a custos mais elevados comparativamente com outro tipo de vidro, isto é, o preço de mercado de um vidro laminado recozido não é o mesmo de um laminado termotransformado. Com este tipo de vidros garantem-se bons desempenhos mecânicos em situações desafiantes, respondendo a um maior grau de complexidade.

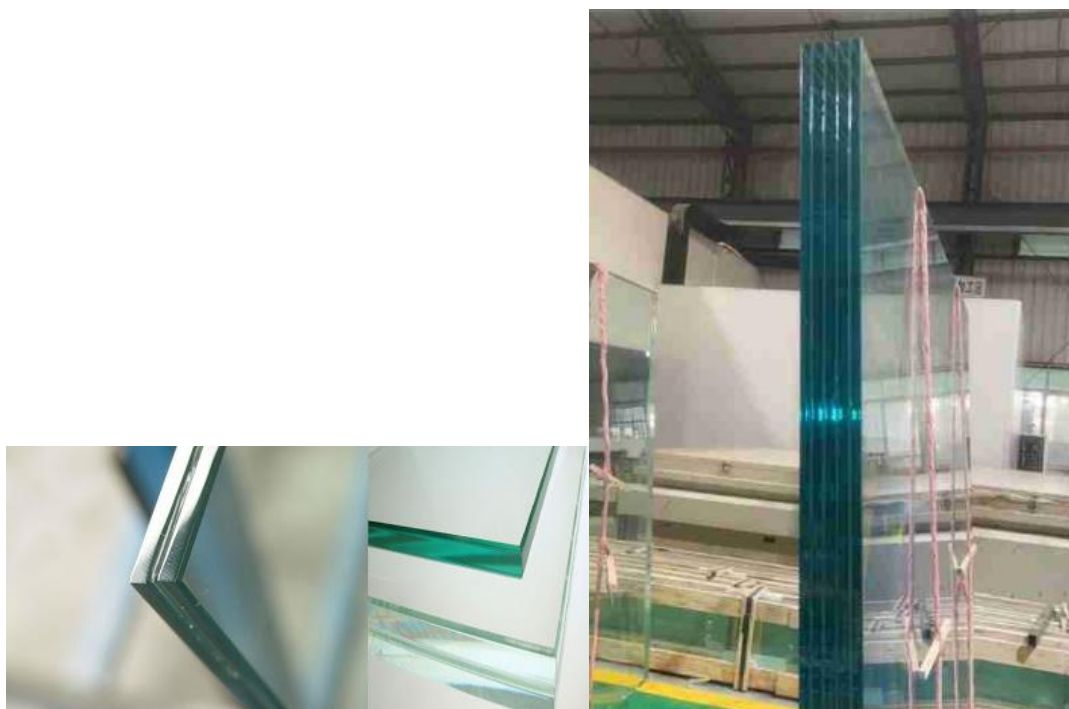


Fig. 6 – Vidro laminado termotransformado 8.8mm à esquerda [28] e à direita um vidro à prova de bala [29]

2.4.2.3. UNIDADES DE ISOLAMENTO

A norma portuguesa referente ao vidro isolante é a NP EN 1279-5:2005+A2 2013 [30].

Os vidros duplos surgiram para aumentar o isolamento térmico dos envidraçados. Trata-se de um sistema constituído por duas ou mais chapas de vidro separadas por um espaço perfeitamente fechado, constituído por ar ou gás, de acordo com os requisitos previstos. A selagem do espaço de ar é realizada com base num intercaler que define a distância entre chapas de vidro, por duas linhas de vedação destinadas a restringir a penetração de humidade e vapor de água e por um desidratante introduzido no intercaler destinado a absorver humidade existente na câmara de ar no momento de fabrico e a pequena quantidade de humidade que eventualmente se venha a infiltrar por difusão [8]. O sistema de vidro isolante é, principalmente, utilizado quando a intenção é aproveitar a luz natural, reforçando o isolamento térmico e a proteção solar. No Inverno, constitui um excelente isolamento térmico, assegurando maior conforto perto dos envidraçados. No Verão, proporciona uma ótima proteção contra o calor, o que reduz para metade a energia solar direta que atravessa o vão envidraçado relativamente ao vidro comum [13].

De seguida, um resumo normativo, na tabela 3 e na Fig.7 um resumo de alguns tipos de vidro.

Tabela 3 - Tipos de vidro e respectivas referências normativas segundo Mandato 135 do LNEC (adaptado [31])

Tipo de vidro	Referências normativas
Vidro sílico-sodo-cálcico de base	NP EN 572-1:2020,8 [12] [32] NP EN 572-2:2022,3,4,5,6,7 [33-37] NP EN 572-9:2010 [38]
Produtos básicos especiais – Vidros borossilicatados.	NP EN 1748-1-2:2010 [39]
Produtos básicos especiais – Vitrocerâmicos	NP EN 1748-2-2:2010 [40]
Produtos de vidro de silicato alcalinoterrosos	NP EN 14178-2:2010 [41]
Vidro de segurança sílico-sodo-cálcico temperado termicamente	NP EN 12150-2:2010 [17]
Vidro de segurança de silicato soda cálcico temperado termicamente e tratado heat soak	NP EN 14179-1:2020 [22] NP EN 14179-2:2008 [18]
Vidro borossilicatado de segurança temperado termicamente	NP EN 13024-2:2010 [19]
Vidro de segurança de silicato alcalinoterroso temperado termicamente	NP EN 14321-2:2008 [20]
Vidro de silicato soda cálcico endurecido termicamente.	NP EN 1863-2:2010 [23]
Vidro de silicato soda cálcico endurecido quimicamente	NP EN 12337-2:2010 [24]
Vidro laminado e vidro laminado de segurança	EN ISO 12543-1:2021 [26] NP EN 14449:2008 [25]
Unidades de vidro isolante	NP EN 1279-5:2019 [30]

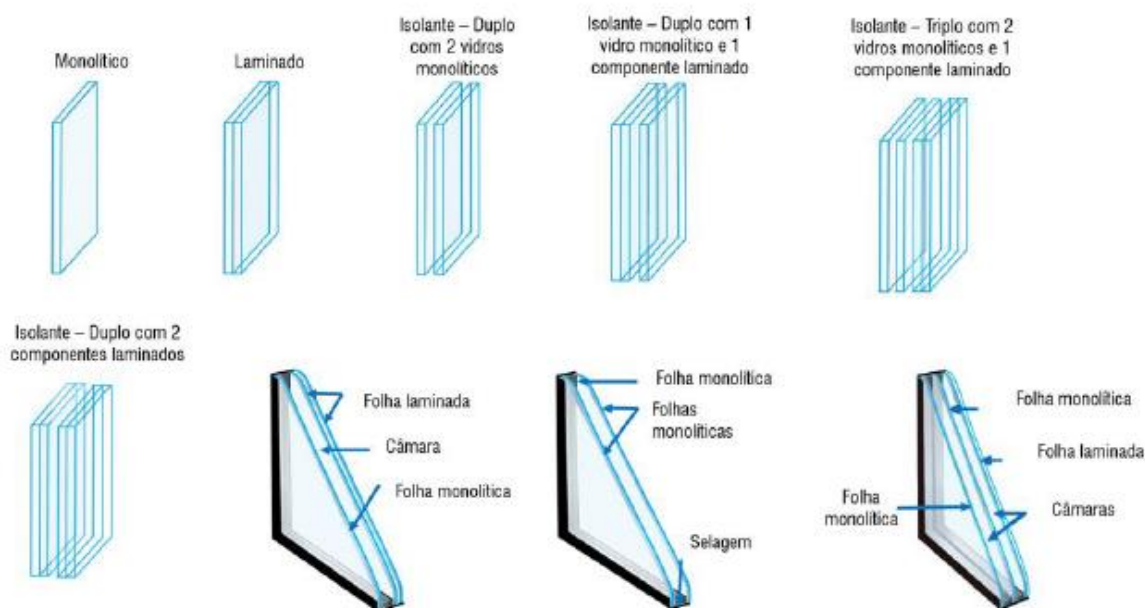


Fig. 7 - Alguns tipos de vidro [42]

2.4.3. VIDROS DE SEGURANÇA

Por vidro de segurança, entende-se um vidro destinado a minimizar o risco de ferimentos causado por fragmentos e que deve satisfazer os seguintes requisitos [8]:

- Resistir ao impacto sem quebrar, satisfazendo pelo menos a classe 3 de altura de queda da massa de impacto da norma EN 12600:2002 [43];
- Se o vidro quebrar no ensaio de impacto, os fragmentos do vidro não devem ser causa de ferimentos nas pessoas. Ou seja, os fragmentos gerados devem: ser de pequena dimensão, satisfazendo os critérios aplicáveis aos fragmentos de vidro temperado [17], devem ficar agregados sem cair satisfazendo no mínimo a classe 3B do ensaio de impacto da norma EN 12600:2002 [43].

São considerados vidros de segurança os vidros laminados e os vidros temperados termicamente. O vidro aramado e o vidro recozido com espessura de pelo menos 8mm, até 1,1m x 1,1m, também podem satisfazer os requisitos de segurança [8]. Para os vidros duplos serem vidros de segurança, ambas as folhas devem ser vidros de segurança.

2.5. TIPOS DE SISTEMAS

2.5.1. SISTEMAS DE FACHADAS

A norma portuguesa referente às fachadas-cortina é a NP EN 13830:2015+A1:2021[44].

A norma define que a fachada-cortina é constituída por perfis verticais e horizontais, ligados entre si e fixados à estrutura de suporte do edifício, contém um preenchimento fixo e/ou de abrir que proporciona todas as funções requeridas a uma parede exterior ou interior ou parte desta mas não contribui para suporte de carga ou estabilidade da estrutura do edifício [44]. Todas as cargas mortas, cargas impostas, cargas ambientais (vento, neve, etc.) e cargas sísmicas são transmitidas à estrutura principal do edifício [44].

Nas fachadas-cortina podem ser aplicados tipos de vidro distintos, recozido e laminado, recozido e monolítico, temperado e laminado ou duplo, ou escolhido de acordo com as especificações de segurança, mecânicas, ou de conforto interior a cumprir. Devem ser considerados, igualmente, os restantes materiais, sendo que os perfis mais usados são os perfis em alumínio, devido ao menor custo e à sua durabilidade.

A corrosão é o principal processo de degradação do alumínio. Este metal é quimicamente ativo na presença de metais alcalinos, o que significa que o cimento, o gesso e a cal, caso se mantenham sistematicamente húmidos durante ou depois de endurecidos acabarão por atacar o alumínio. É por isso necessário proteger as superfícies em contacto com esta categoria de materiais, com revestimentos adequados, de modo a minimizar esta anomalia [16].

As fachadas-cortina podem dividir-se em vários tipos de fachadas, mas nesta dissertação apenas vão ser abordados os seguintes tipos: fachada-cortina de vidro exterior agrafado (VEA), fachada-cortina de vidro exterior colado (VEC) e fachada-cortina de vidro exterior preso (VEP).

2.5.1.1. SISTEMAS DE FACHADA-CORTINA DE VIDRO EXTERIOR COLADO (VEC)

O sistema designado por vidro exterior colado, ou simplesmente, VEC (na nomenclatura inglesa *Structural Sealant Glazing System*, ou, SSGS), é um tipo de fachada em que o vidro é fixo através de silicone ou resina estrutural aos perfis metálicos estruturais, que estão ancorados ao edifício. Este silicone tem como principal função transferir os esforços provocados pelo vento, pelo peso próprio e pelas tensões derivadas de dilatações diferenciais entre os vidros e os caixilhos de suporte para os respetivos apoios [14]. Contudo, em países como a França ou a Alemanha, a utilização do silicone estrutural não é permitida, sendo por isso obrigatório a colocação de um suporte mecânico para esse propósito. É necessária uma certificação por parte dos fornecedores e especial atenção à colagem do vidro dado que, neste sistema, o vidro não é apenas um preenchimento da fachada mas também assume um papel estrutural.

Segundo a norma NP 4517:2015 [45], nas fachadas VEC são utilizados dispositivos de segurança sempre que o bordo inferior do vidro se situe a mais de 6 m de altura do piso exterior e são dispensados no caso de vidros colocados em zonas sem acesso público e com o bordo inferior do vidro a menos de 6 m de altura do piso exterior. Contudo, neste último caso, a norma salienta que é necessário que uma entidade independente evidencie que estes são desnecessários para garantir a segurança e durabilidade [45].

Apesar de, não existir regulamentação relativa ao uso de silicões estruturais na Europa, o organismo europeu EOTA (*European Organisation for Technical Approvals*) elaborou o documento orientador da construção ETAG 002 SSGK: Guideline for European Technical Approval of Structural Sealant Glazing Kits (ETAG 002) [46], onde se encontram recomendações para o uso destes sistemas. Segundo esta

diretriz, existem quatro tipos de sistemas VEC, conforme ilustra a Fig.8 e a Tabela 4 e que vão ser caracterizados mais à frente.

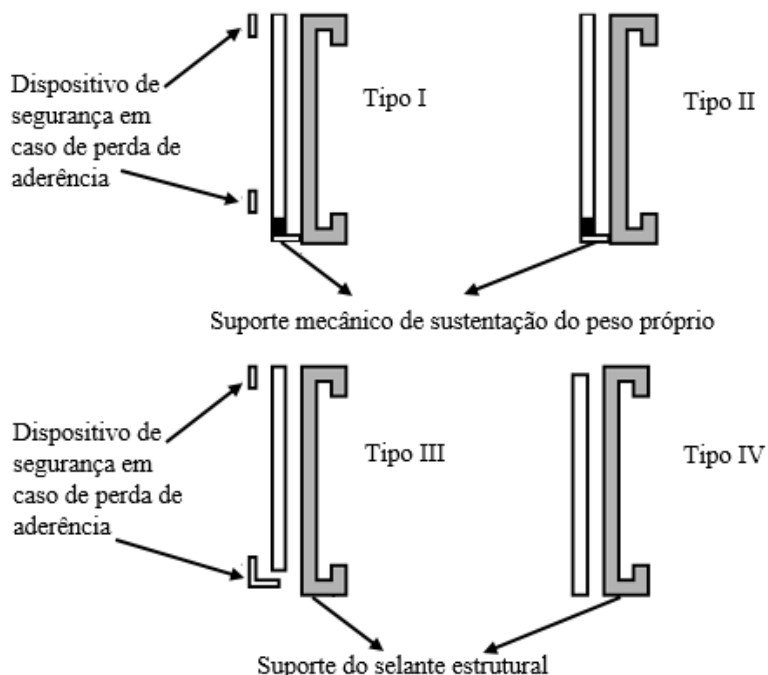


Fig. 8 - Sistema de vidros exteriores colados (adaptado [46])

Tabela 4 -Tipos de sistema de vidros exteriores colados (adaptado [46])

Tipo I	A transferência do peso próprio do vidro para a estrutura é realizada através de um dispositivo de apoio no bordo inferior do vidro. O silicone estrutural transmite todas as outras ações e são utilizados dispositivos de segurança por forma a reduzir o risco na eventualidade da perda de adesão do vidro ao suporte.
Tipo II	A transferência do peso próprio do vidro para a estrutura é realizada através de um dispositivo de apoio no bordo inferior do vidro. O silicone estrutural transmite todas as outras ações e não são utilizados dispositivos de segurança por forma a reduzir o risco na eventualidade da perda de adesão do vidro ao suporte.
Tipo III	O silicone estrutural transfere todas as ações, incluindo o peso próprio do vidro. São utilizados dispositivos de segurança por forma a reduzir o risco na eventualidade da perda de adesão do vidro ao suporte.

Tipo IV	O silicone estrutural transfere todas as ações, incluindo o peso próprio do vidro, ao caixilho e este transmite as cargas à estrutura. Não são utilizados dispositivos de segurança por forma a reduzir o risco na eventualidade da perda de adesão do vidro ao suporte.
---------	--

Nesta mesma diretriz, encontram-se identificadas e referidas todas as especificações para os envidraçados com silicone estrutural, nomeadamente, desenhos e dimensões, tipos de vidros e alumínio, componentes e acessórios, selagem de estanquidade, entre outras.

2.5.1.2. SISTEMAS DE FACHADA-CORTINA DE VIDRO EXTERIOR AGRAFADO (VEA)

É um tipo de fachada cujos painéis de vidro se encontram pontualmente fixos aos elementos portantes. Podem ser fixos por grampos, aranhas ou rótulas, que permitem diferentes formas de transmissão de esforços.

As rótulas são fixas aos painéis de vidro através de furos que, mesmo não enfraquecendo o vidro, promovem a concentração de tensões nesses pontos. Assim, o vidro tem de ser dimensionado para esses pontos críticos. As fachadas de VEA são constituídas por um sistema de fixação pontual, obtido por intermédio de dispositivos mecânicos em aço inoxidável, habitualmente denominados de aranhas (esquema na Fig. 9) [16].

O sistema de fixações suporta o peso próprio do vidro, os esforços horizontais (ação do vento), as movimentações diferenciais, e permite simultaneamente a livre dilatação do vidro (não provoca tensões) [16].

As aranhas são usualmente elementos metálicos em aço inoxidável ou alumínio, podem ser de diversos tipos e ter um variado número de braços, conforme o número de vidros aos quais vai ser agrafada, na extremidade de um dos braços possuem rótulas e um suporte para ligação à estrutura portante na outra extremidade [16].

De modo a evitar o contacto direto aço/vidro, as rótulas possuem um material intermédio com módulo de elasticidade inferior, que têm como função garantir uma distribuição uniforme das tensões nas zonas dos furos de forma a não provocar a fratura do vidro [47].

Existem três tipos de fachada VEA, a fachada VEA perfurada (nesta solução, o vidro duplo é totalmente perfurado), a fachada VEA embutida (permite que a rótula fique embutida no painel de vidro laminado, evitando-se a perfuração total do vidro) e a fachada VEA colada com silicone estrutural (o vidro é colado às rótulas através de um silicone estrutural, evitando zonas de maior sensibilidade estrutural, os furos) [16].

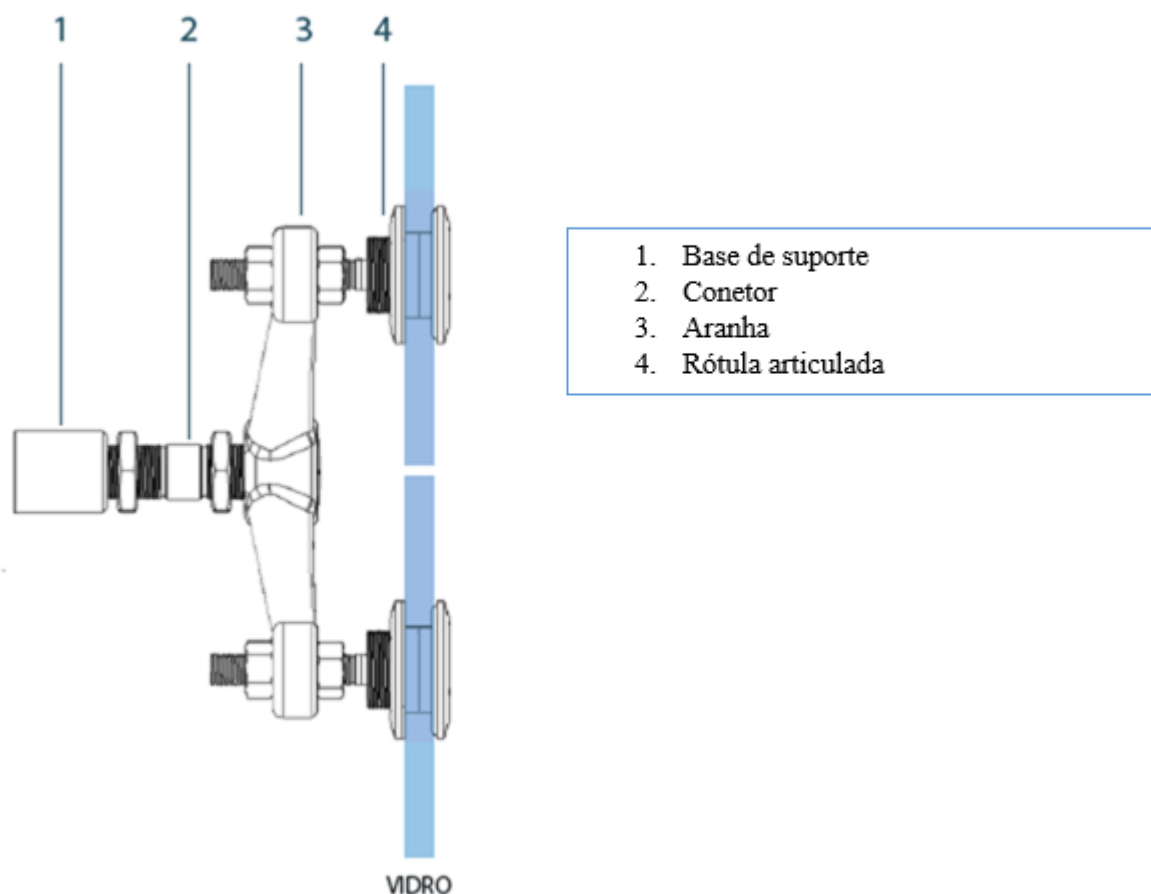


Fig. 9 - Composição do sistema de fachada VEA [48]

2.5.1.3. SISTEMAS DE FACHADA-CORTINA DE VIDRO EXTERIOR PRESO (VEP)

A fachada VEP é uma fachada leve que tem como principal característica a combinação de esbelteza com grande resistência à ação do vento. Este sistema é constituído por vidros aplicados num caixilho independente, fixado posteriormente à estrutura através de peças próprias, que asseguram a transmissão (esquematisado na Fig. 10) dos esforços à estrutura de base. É um sistema de fachada onde é possível identificar facilmente os perfis de alumínio na periferia do vidro que o suportam conferindo uma estética diferenciada a esta fachada [42]. Quando comparada com a fachada VEC, esta fachada pode suportar cargas superiores e, por isso, é possível a utilização de vidros de maior dimensão.

É uma montagem que permite uma certa flexibilidade na medida em que é possível integrar facilmente aberturas (janelas com aberturas diferentes) sem que a uniformidade estética da obra seja afetada.

Além disso, para garantir um desempenho energético ideal, a fachada VEP é muitas vezes completada com uma cobertura dupla ventilada e equipada com sistemas de *blackout*.



Fig. 10 - Fachada VEP [49, 50]

2.5.2. SISTEMAS DE GUARDAS

Uma guarda é uma barreira, que tem como objetivo proteger as pessoas que permaneçam ou circulem na sua imediação contra o risco de queda fortuita, porém, sem impedir a sua passagem forçada [51].

O único documento que existe em Portugal relativo às especificações das guardas em edifícios é a Norma NP 4491 [51]. Existem também diversas avaliações técnicas, bem como o Manual do Vidro da Saint-Gobain Glass (SGG) [52].

Esta norma estabelece, para guardas na parte exterior dos edifícios e guardas em escadas e em rampa, os métodos de ensaio para a determinação das características de resistência mecânica das guardas e os critérios para a interpretação dos resultados destes ensaios, para que seja garantida a segurança na utilização das guardas, considerando ações de tipo fortuito ou involuntário [51].

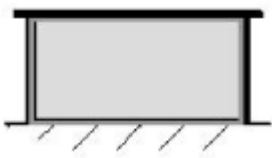
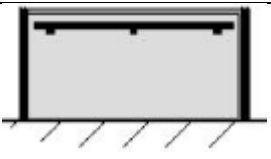
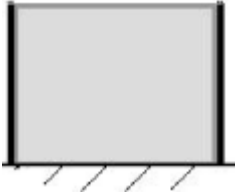
As normas são um documento de aplicação voluntária, exceto se um diploma legal as torne obrigatórias, o que atualmente não existe [53]. Mesmo assim, a NP 4491 [51], deve ser indispensável na realização de projeto, construção e reabilitação, conduzindo à eficaz finalidade das guardas.

Pelo contrário em países como a França, existem documentos alusivos às regras de segurança relativas às dimensões das guardas (NF P01-012 [54]), relativos aos métodos de ensaio a realizar (NF P01-013 [55]) e relativos aos vidros de segurança em guardas de proteção (NF DTU 39 [56]) [53]. A instalação das guardas é fiscalizada e tem que respeitar as especificações, sendo que a sua conceção é regulamentada para alturas de queda iguais ou superiores a 1 metro [54].

Existem documentos do Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), como, por exemplo, guias práticos, com destaque para o Guia Prático - Garde-corps de bâtiments (Guarda corpos de edifícios), que constitui uma síntese fundamental sobre o tema, guardas [53].

Há que ter em consideração que a principal função das guardas é de proteção, ou seja, o tipo de vidro a adotar deve ser diferente de caso para caso, garantindo sempre as condições de segurança e estar sempre em conformidade com as normas existentes.

Tabela 5 - Tipos de sistema de guardas (adaptado [46])

Tipos de guardas	Vidros recomendados	Ilustração do sistema	Suportes recomendados
Vidro com suporte em 4 lados, com corrimão com suporte próprio	Qualquer tipo de vidro laminado de segurança ou um vidro duplo com, pelo menos, um painel de vidro laminado de segurança		Contorno do vidro mínimo de 12 mm, mas pelo menos 1,5 vezes a espessura do vidro
Vidro com suporte em 4 lados, com corrimão suportado pelo vidro	Qualquer tipo de vidro laminado temperado		Contorno do vidro mínimo de 12 mm, mas pelo menos 1,5 vezes a espessura do vidro
Vidro com suporte em 4 lados, sem corrimão	Qualquer vidro laminado de segurança		Contorno do vidro mínimo de 12 mm, mas pelo menos 1,5 vezes a espessura do vidro
Vidro apoiado em 3 lados Vidro apoiado em 2 lados Vidro com suporte pontual	Qualquer tipo de vidro laminado de segurança, exceto quando o vidro é apoiado pontualmente, que deve ser reforçado quimicamente ou termicamente (Heat-Soak-Test é recomendado)	  	Contorno do vidro mínimo de 18 mm, no caso de existirem fixações pontuais são necessários ensaios

Vidro com suporte em apenas 1 lado, com ou sem corrimão	Qualquer tipo de vidro laminado de segurança, reforçado quimicamente ou termicamente (Heat-Soak-Test), a solução com corrimão apenas deve ser aplicada num local que não seja público		Contorno de acordo com os requisitos da categoria B da DIN 18008-4
---	---	--	--

O vidro apropriado está dependente dos tipos de suporte do vidro à estrutura, de acordo com o seguinte (esquemático na Tabela 5): a diferença fundamental entre os vidros de segurança e os outros vidros é o facto de, perante uma quebra, não produzirem fragmentos que possam causar danos às pessoas.

De acordo com as normas EN 12600:2002 [43] e NF DTU 39 [56], o vidro a instalar nas guardas deve passar por dois tipos de ensaios, o ensaio de impacto suave e o ensaio de choque de corpo rígido.

2.5.3. SISTEMAS DE PISOS

O dimensionamento de pavimentos em vidro requer cuidados redobrados face às condições a que estão expostos, nomeadamente a ação humana e a cargas de carácter permanente. Pela presença dos referidos aspetos, o vidro, quando aplicado em pisos, não deve ser considerado como um elemento estrutural, ou seja, em caso de rotura, não pode colocar em perigo a restante estrutura e deverá permanecer em segurança até que se possa proceder à reparação ou substituição do mesmo. Por razões de segurança, é utilizado o vidro laminado e películas em PVB entre as camadas de vidro.

Segundo o Guidance for European Structural Design of Glass Components [46], o vidro aplicado em pavimentos tem que ter pelo menos 3 camadas de vidro. A espessura mínima da película de PVB é de 0,76 mm, o vidro temperado termicamente só é permitido combinado com o vidro *float* ou com o vidro reforçado termicamente. A primeira camada deve ser vidro laminado com uma película adicional de abrasão [46]. Também existem as Normas Britânicas BS 6399: Parte 1, 1996 [57] e BS5395: Parte 1, 2000 [58] que regem a instalação de pisos, para cargas mortas e impostas e para os perigos de deslizamento.

Embora a quebra de qualquer piso de vidro seja altamente improvável, é necessário dimensionar o vidro para essa situação. Um pavimento de vidro deve ser dimensionado num sistema com três camadas de vidro laminado. Este sistema é uma salvaguarda contra falhas. Se qualquer pedaço de vidro da primeira camada, rachar ou partir, o piso ainda estará intacto. As duas peças de vidro restantes podem suportar com segurança a carga estrutural [59]. As espessuras necessárias aumentam acentuadamente à medida que a extensão do vidro aumenta. Os pisos de vidro geralmente tendem a ser duas vezes mais resistentes que os de madeira, devido à resistência inerente do próprio vidro e à estrutura de suporte adicional que o mantém no lugar [60].

Uma desvantagem de pisos em vidro é o desconforto e medo que provocam nos utilizadores que passam por cima, um exemplo disso foi uma situação na China, onde uma pessoa deixou cair uma caneca na ponte do Parque Geológico Nacional de Shiniuzhai (piso esquematizado na Fig.11) e a primeira camada partiu sendo que, as outras duas ficaram intactas mas, mesmo assim, as pessoas entraram em pânico [60].



Fig. 11 - Piso de vidro da ponte de Zhangjiajie [61]

2.6. SISTEMAS DE FIXAÇÃO

As fixações assumem uma função muito importante nas estruturas em vidro. As características mecânicas dos materiais que suportam os painéis de vidro impedem o seu contacto direto com o vidro. Ao longo dos últimos anos tem-se comprovado um aumento na tendência arquitetónica para maximizar a transparência dos painéis de vidro [16].

Esta mudança está associada ao desenvolvimento das ligações que passaram a ser realizadas por fixações pontuais ou por colagem, deixando de ser feitas por suportes lineares. Isto permitiu que a área de suporte fosse substancialmente reduzida e aumentada a transparência dos painéis, assim como do meio de transmissão das cargas do vidro para a estrutura portante.

Todavia, estas novas ligações conduziram a problemas de durabilidade e adesão que precisam de ser considerados na ligação entre painéis de vidro e ligação destes a outros materiais [21]. Os sistemas de ligação podem ser decompostos em dois grandes grupos, os sistemas de ligação mecânica e os sistemas de colagem (ambos podem coexistir em simultâneo no mesmo sistema).

2.6.1. SISTEMAS DE LIGAÇÃO MECÂNICA

As ligações mecânicas são o tipo de fixações mais utilizadas para elementos de vidro, existindo uma vasta gama de fabricantes deste tipo de ligações (este tipo de fixação é o único que é utilizado para as guardas de proteção em vidro). Geralmente os materiais destas ligações são em aço inoxidável ou em alumínio [53].

As ligações mecânicas podem ser divididas em fixações contínuas ou fixações pontuais.

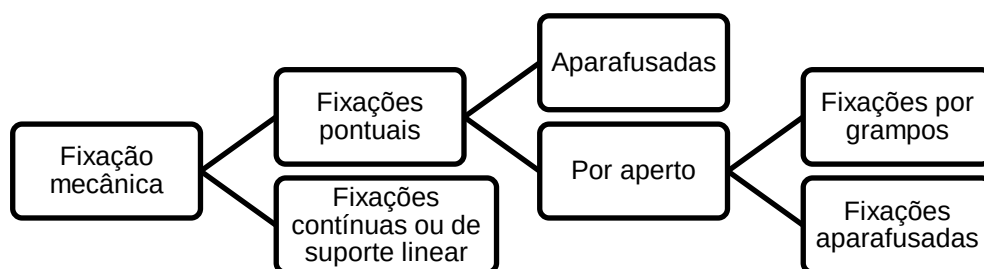


Fig.12 – Tipos de fixação mecânica

Nas fixações pontuais, os painéis de vidro são fixos à estrutura pontualmente. O contacto direto entre o vidro e o metal é evitado recorrendo a materiais intermédios. Este método é mais utilizado comparativamente com as fixações contínuas pelo facto de exigir uma menor quantidade de material de apoio no vidro, permitindo igualmente uma maior transparência da fachada [16].

Considera-se dois tipos de fixações pontuais, por aperto e aparafusadas.

As fixações pontuais por aperto são aplicadas pontualmente nos painéis de vidro em pontos discretos dos bordos, podendo fazer a ligação entre dois painéis de vidro consecutivos (evitando-se o contacto entre dois painéis de vidro) ou a ligação entre o painel de vidro e a estrutura metálica portante (evitando-se o contacto vidro/metal).

Existem dois tipos de fixações pontuais por aperto: as fixações por grampos e as fixações aparafusadas. No primeiro caso, as fixações são constituídas por uma estrutura de aperto, calços de apoio e neoprene ou uma borracha de EPDM, os últimos colocados de modo a evitar o contacto entre o vidro e o metal. As fixações pontuais por aperto são utilizadas para transferir as cargas que atuam perpendicularmente ao plano do vidro [16].

No segundo caso, as fixações aparafusadas, recorre-se a parafusos pré-esforçados de forma a garantir a resistência ao corte e de modo a permitir a transferência de cargas que atuam no plano do envidraçado. Este tipo de fixação é o mais utilizado para ligar longitudinalmente dois painéis de vidro em soluções estruturais que assim o exijam. O contacto vidro/metal é evitado recorrendo a um material intermédio (tipicamente alumínio, já que apresenta um módulo de elasticidade equivalente ao do vidro), colocado entre o parafuso e o vidro. Este material tem igualmente como função preencher a folga existente e vedar o furo [16].

Em ambos os casos, a transferência de cargas é realizada recorrendo-se ao atrito na zona de aperto, as cargas são dissipadas pela área de contacto do vidro e evita-se a concentração de tensões (que ocorrem quando se utiliza ligações totalmente aparafusadas).

2.6.2. SISTEMAS DE COLAGEM

Neste tipo de fixações a ligação entre o painel de vidro e a estrutura portante é realizada com o auxílio de silicones ou adesivos estruturais que asseguram a aderência entre os dois materiais.

Este tipo de ligação tem como principal vantagem a capacidade de transmitir tensões de forma uniforme ao longo de toda a superfície de contacto entre o painel e a estrutura portante, evitando a concentração de tensões às quais o vidro é bastante sensível. Permite igualmente obter acabamentos com superfície plana e de fácil limpeza [16].

Este tipo de ligações de colagem podem-se decompor em dois grupos, conforme as propriedades mecânicas dos materiais utilizados: ligações por adesivos estruturais (ligações adesivas de elevada rigidez) e ligações por silicone estrutural (ligações adesivas de rigidez reduzida) [16]. Quando se utilizam adesivos estruturais as ligações coladas apresentam uma elevada resistência e rigidez. Distinguem-se das outras ligações coladas pelo facto de permitirem a criação de juntas com menor cumprimento e espessura.

A aplicação de silicones estruturais tem sido cada vez mais usada em situações onde se pretenda obter uma ligação transparente e flexível entre o vidro e o alumínio, entre o vidro e o aço inoxidável ou entre o vidro e o vidro. A utilização do silicone como elemento estrutural proporciona, deste modo, uma maior transparência das fachadas [16].

Quando a escolha recaí no adesivo estrutural deve considerar-se diversos aspetos, nomeadamente, a compatibilidade química entre o adesivo e os restantes materiais, a geometria da junta, a temperatura de aplicação e de serviço do adesivo, a durabilidade da junta e do adesivo, o processo de cura e o método de aplicação [16].

3

METODOLOGIA PARA A ELABORAÇÃO DO GUIA

3.1. INTRODUÇÃO

Perante a falta de documentação e orientações nesta especialidade, sentiu-se necessidade de perceber como é que a indústria funciona e quais os seus intervenientes. O facto da elaboração desta dissertação ter uma duração reduzida, impossibilitou a realização de uma análise mais aprofundada ao setor, apenas foram entrevistados seis técnicos e uma advogada (questões colocadas aos técnicos nas tabelas 6 e 7 respetivamente), pelo que esta análise não poder ser considerada uma análise estatística. Apenas teve como finalidade facilitar a perceção do papel dos técnicos e a sua importância na indústria, isto é, tentar perceber como funciona o mercado da especialidade pelos olhos de seis técnicos diferentes, quais as dificuldades que cada técnico enfrenta, e se estas são comuns aos seis técnicos, como as resolvem, que tipo de obras é que recebem e que tipo de clientes têm. Foram colocadas as mesmas questões aos vários técnicos com o objetivo de perceber de que forma o mercado estava organizado, perante os problemas intrínsecos ao mercado como é que os técnicos os tentam resolver (se é que depende apenas deles) e se os técnicos que estão na construção e na análise do caderno de encargos consideram relevante a existência de uma matriz de pensamento que se materializasse numa verificação primária, em que a salvaguarda do desempenho mínimo da solução final estivesse garantido. A entrevista à advogada teve como objetivo perceber o seu papel numa situação jurídica e como esta poderá atuar frente a um caso de má prescrição de vidro, que pode ou não levar a danos no utilizador, quais os mecanismos que poderia acionar e como procederia na defesa de uma causa.

Tabela 6 - Questões colocadas aos 6 técnicos

Questões colocadas aos 6 técnicos	
1)	Quais os trabalhos que caracterizam a empresa onde trabalha? Quantos anos de experiência têm na indústria do vidro? E quais as funções que desempenha? Quais as principais atividades que realiza, relacionadas com as funções que desempenha?
2)	Qual a área geográfica da empresa? E qual é o mercado onde atuam?
3)	Qual o tipo de clientes da empresa e de que forma decidem se a proposta a apresentar é do vosso interesse ou não?
4)	Como é que vos chega o C.E (pedido de cotação) e de que forma é que vem descrita a solicitação do cliente/projeto?
5)	Considera que os pedidos de cotação/projeto de cliente estão por norma bem elaborados? Que os mesmos respeitam a normas e legislação em vigor?
6)	Quais os passos para “decifrar” os objetivos do cliente numa determinada solicitação? Tomam a iniciativa de melhorar a solicitações técnicas mencionadas? Como verificam tecnicamente a solicitação do cliente? Garantindo o cumprimento regulamentar?
7)	A empresa costuma estar ligada aos projetos do início ao fim ou apenas a parte? Ou seja costuma, interagir ou associar-se com outras empresas para a mesma obra?
8)	Considera importante que existisse um guia interpretativo, tipo <i>checklist</i> que ajudasse a vossa organização a verificar em fase de orçamentação e produção se o cliente ou projetista efetuou algum estudo prévio sobre as demais temáticas associadas ao sistema construtivos e elementos individuais (vidro), se os pedidos do cliente/projeto respeitam as normas e regulamentação vigente (mercado nacional)?

Em primeiro lugar, foram entrevistados em simultâneo, um diretor de mercados internacionais, com dezassete anos de experiência e um técnico prescritor de vidro, responsável de vendas internacionais, que atua já há dezasseis anos, de uma empresa que transforma vidro plano. Comentam estes que os pedidos de cotação que recebem do mercado não residencial (fachadas de vidro), vêm normalmente bem elaborados, pelo contrário, no mercado residencial (moradias unifamiliares, apartamentos mais correntes), a definição dos pedidos de cotação não é tão apurada, aliás, por vezes, vêm com falhas substanciais, nomeadamente, em termos de espessura do vidro.

O segundo entrevistado foi o gerente de uma empresa que assume responsabilidades pela análise e controlo dos diferentes projetos, coordenando equipas comerciais e operacionais, com vinte e cinco anos de experiência em empresas que preparam e instalam o vidro em obra. Comenta que os pedidos de cotação que recebem, quase nunca vêm bem elaborados, principalmente, no que toca a guarda corpos. As obras em que tenta atuar são obras pouco correntes potenciando a sua diferenciação técnica e diminuindo o número de concorrentes.

Foi entrevistada, em terceiro lugar, uma medidora orçamentista que faz também o acompanhamento e controlo de obra, com quinze anos de experiência numa empresa que tanto produz vidro para a

construção como fornece vidro para caixilharias, espelhos, resguardos de duche, guardas e fachadas agrafadas. A técnica considera que alguns pedidos de cotação vêm bem elaborados, outros vem mal elaborados não só pela falta de informação como o foco do pedido vem desajustado. Comenta que é uma situação muito frequente nas pequenas e médias obras, e por isso, opta por escolher obras que sejam diferentes, desafiantes e onde há menos empresas a competir.

Em quarto lugar, foi entrevistado um arquiteto, com funções de consultor técnico, com vinte e quatro anos de experiência (treze dos quais em projeto e acompanhamento de obra) de uma empresa que transforma todo o tipo de metais, desde a matéria-prima em bruto até perfis de caixilharia. O técnico tem como principal função fazer a ponte entre os gabinetes de arquitetura e a indústria. De uma maneira geral, considera que os pedidos de cotação não vêm bem elaborados, a não ser alguns do estrangeiro (em particular, França onde são muito exigentes e rigorosos). Procura as obras que o possam desafiar tecnicamente e lhe permitam fazer algo diferenciado.

Em quinto lugar, foi entrevistado um técnico com vinte e dois anos de experiência na indústria do vidro. A posição que ocupa dentro da empresa é a gestão de topo, as suas ações mais operacionais são: a direção comercial, a direção de compras e a direção de qualidade. Considera que os pedidos de cotação/caderno de encargos estão por norma mal elaborados porque, não só não estão definidos os requisitos do cliente como os requisitos técnicos mínimos (muitas vezes, nem o design está concretizado). Comenta que os cadernos de encargos chegam com demasiada informação avulsa, falta de informação ou a que consta está errada, não tendo sido salvaguardadas as questões de segurança, térmica e acústica. Como não existe um eurocódigo, a empresa vai seguindo alguma legislação de outros países, nomeadamente, França, Inglaterra, Alemanha e Estados Unidos da América para elaborar as suas soluções e acredita que estando o mercado a evoluir tão rapidamente, a tendência será a de organizar o que ainda está confuso.

Foi feita uma pergunta final aos vários intervenientes, em que lhes foi pedida a opinião sobre a importância de existir um guia interpretativo, tipo *checklist* que ajudasse a organização a verificar se o cliente ou projetista efetuou algum estudo prévio sobre as demais temáticas associadas ao sistema construtivos e elementos individuais (vidro) e se os pedidos do cliente/projeto respeitam as normas e regulamentação vigente (mercado nacional) sendo que todos admitiram que seria uma mais valia para o setor. Todos concordaram que, dada a sua experiência já fazem esse *checklist* individualmente, mas no mercado da especialidade, o nível dos técnicos que colaboram com os arquitetos é muito diferenciado pois grandes gabinetes têm grandes técnicos com experiência, mas depois temos os outros que recorrem a pequenos serralheiros, a pequenos instaladores vidreiros que, muitas vezes, se baseiam em experiências anteriores e não em normas europeias. Serão os pequenos clientes que mais vão beneficiar com a existência deste guia interpretativo para que se evitem prescrições incorretas de vidro e suas estruturas portantes, deficiências que só são descobertas quando já está tudo montado em obra.

Com base nas entrevistas realizadas aos vários técnicos, pode-se concluir que existem pontos em comum entre todos. O primeiro ponto em comum é o tipo de obras que aceitam. Todos optam por obras diferenciadas, desafiadoras, pouco correntes para que, primeiro, a probabilidade de ganharem a obra seja maior e, segundo, para se diferenciarem em relação a outras empresas da especialidade. Não optam por projetos correntes, porque a concorrência é mais elevada, há mais burocracia e maior discrepância de preços quer ao nível dos materiais quer ao nível da mão de obra. Outro ponto em comum é a forma como é elaborado o pedido de solicitação/caderno de encargos que lhes é enviado, principalmente por pequenos clientes. São estes que têm mais dificuldades em elaborar o pedido que esteja conforme as normas e legislação portuguesas em vigor, o que acontece, muitas vezes, é a ausência de informação essencial para a elaboração/orçamentação da proposta e é nesta fase que era importante ter algum documento que guiasse estas empresas na elaboração de um pedido de cotação. Os técnicos

entrevistados sentem que dentro das empresas pequenas, os projetos de moradias e guardas são os que vêm completamente “despidos” de informação útil no que diz respeito ao vidro. O papel das empresas (instaladores vidreiros) tem sido o de “decifrar” os objetivos do cliente para cada obra. O que acontece, frequentemente, é que o cliente não sabe explicar o que quer e cabe às empresas tentar chegar a uma solução que ao mesmo tempo cumpra os requisitos mínimos normativos e satisfaça os requisitos do cliente. Durante este processo, é muito frequente que o cliente, não tendo conhecimentos técnicos suficientes para avaliar se o pedido de cotação que enviou está ou não conforme, proponha soluções construtivas ou que exija determinados requisitos para o projeto que não fazem muito sentido em termos técnicos. Por estas e outras razões é que é necessário ter um documento que ajude estas e outras empresas no desenvolvimento de um bom pedido de cotação/cadernos de encargos.

Tabela 7 - Questões colocadas à advogada

Questões colocadas à advogada
1) Se lhe fosse solicitado no âmbito de um processo judicial a verificação se um processo na especialidade de vidro e suas estruturas está bem realizado, como procederia?
2) A que tipo de técnicos, entidades recorreria para conseguir as informações desejadas?
3) Assumiria de imediato que os técnicos teriam o conhecimento técnico e normativo para o estudo da causa a nível técnico?
4) Assumiria que a descrição e apoio do técnico seria verdadeira, tecnicamente válida?
5) Faria parte dessa sua comunicação com os técnicos que eles evidenciassem normas de suporte?
6) Tem algum conhecimento de uma entidade externa e neutra que poderia imitar parecer técnico independente?
7) Na sua opinião para o juiz que analisará a causa tem ou não importância as referências às normas incluindo a interpretação das mesmas que, podem ser discutidas nas várias audiências?

Da entrevista à advogada, pode concluir-se a forma como procederia em caso de má prescrição de vidro, quem contactaria para a elucidar sobre um processo na especialidade de vidro e se esta tem ou não conhecimento da existência de alguma entidade externa e neutra que pudesse emitir um parecer técnico independente. Segundo a advogada, a primeira coisa que faria deslocar-se ao local onde se deu o incidente e depois tentava contactar com os técnicos que tinham realizado a obra da especialidade e se, mesmo assim, não estivesse elucidada, tentaria falar com algum perito da área para perceber se houve ou não falta de cuidado ou intenção de não fazerem as coisas conforme a legislação em vigor. De acordo com a advogada, se todas as pessoas contactadas corroborassem a versão do técnico responsável pela prescrição, e não tendo esta conhecimentos suficientes na especialidade do vidro para questionar a palavra dos técnicos, a menos que, não evidenciassem normas de suporte para a solução construtiva em causa, teria que aceitar que a prescrição feita pelo técnico foi adequada. Mesmo não havendo legislação para esta especialidade, no caso de más prescrições, há sempre forma de resolver estas situações,

consultando legislação de outros países, analisando casos semelhantes (em Portugal, acidentes com vidro são muito frequentes), jurisprudência ou legislação avulsa. A advogada não tem conhecimento de nenhuma entidade externa e neutra que possa emitir parecer técnico independente. Este tipo de situações comprova que faz falta a existência do tal guia interpretativo, legislação e de um eurocódigo que definisse responsabilidades aos diferentes intervenientes.

3.2. DEFINIÇÃO DO GUIA INTERPRETATIVO PARA OS DIFERENTES SISTEMAS

3.2.1. GUARDAS

Os vidros adequados à utilização em guardas são os vidros laminados recozidos e os termotransformados, pois reúnem as qualidades de segurança (comportamento pós quebra) e resistência necessárias para suportar as ações a que vão estar sujeitos. A escolha do vidro apropriado está dependente quer do tipo de guarda e respetivo sistema de fixação, quer das ações a que este vai estar sujeito. Deve ser escolhido tendo em consideração os pontos seguintes.

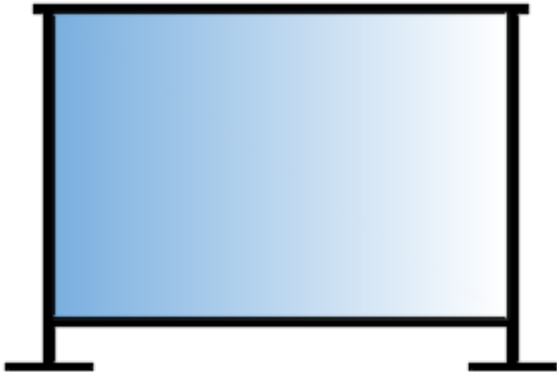
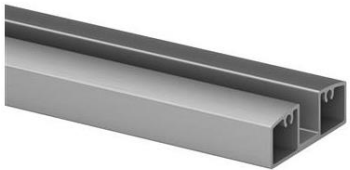
No Anexo 1 são tiradas conclusões específicas para cada um dos seguintes pontos, de forma a facilitar a consulta e a aplicação do guia interpretativo apresentado no final.

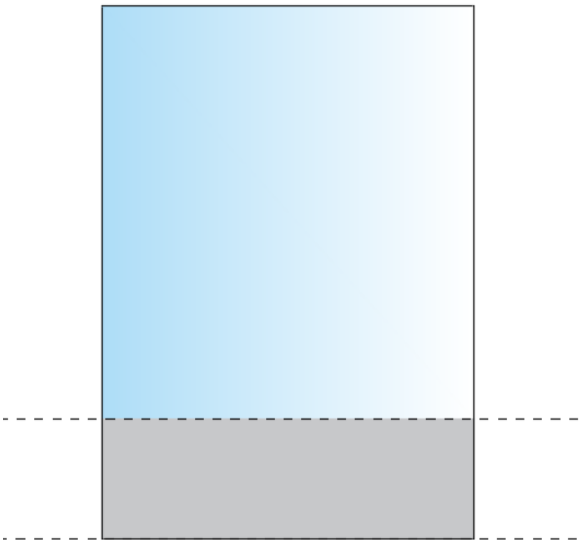
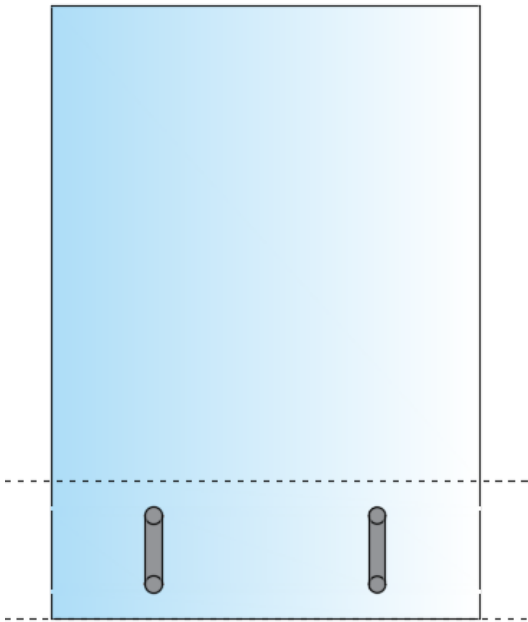
3.2.1.1. TIPOS DE GUARDAS

Foram considerados cinco tipos diferentes de guardas ou balaustradas (mais comuns), mas existe um vasto número de guardas disponíveis nas marcas especializadas. Se, inicialmente, não é verificado nem escolhido nenhum tipo de guarda, cabe ao técnico que está a analisar e interpretar o caderno de encargos ou pedido de solicitação a escolha da guarda que melhor se adequa às necessidades técnicas e às necessidades do cliente. Naturalmente, sendo tipos de guarda diferentes têm também diferentes tipos de sistemas de fixação. O sistema de uma guarda em vidro será obrigatoriamente mecânico, sendo que se dispõe de diversas opções (exemplo: presilhas, perfis, adaptadores etc.). Geralmente os materiais destas fixações são em aço inoxidável ou em alumínio. Dentro dos sistemas de fixação mecânica os que vão ser instalados nos tipos de guardas abordados são os sistemas de fixação pontual. Os cinco tipos considerados e respetivos sistemas de fixação estão definidos na tabela 8.

Tabela 8 - Tipos de guardas abordados e respetiva fixação [62]

Tipos de guarda	Tipo de fixação pontual
Tipo 1- Guarda por presilhas 	Presilha para vidro 

Tipo 2- Guarda com apoio linear superior e inferior 	Perfil inferior  Perfil superior  Acabamento 
Tipo 3- Guarda tipo Balustrada - Apoio linear com ancoragem no topo da laje 	Perfil 

Tipo 4- Guarda Tipo Balustrada - Apoio linear com ancoragem na testa da laje 	Perfil 
Tipo 5 - Guarda com ligações Pontuais - Botões 	Adaptadores de vidro 

3.2.1.2. CATEGORIA DE UTILIZAÇÃO

É estabelecida a categoria de utilização onde a guarda vai ser instalada, se é num local de utilização residencial, escritórios, salas de reuniões ou atividade comercial. Todas as opções tomadas em diante dependem do tipo de utilização escolhida neste ponto.

Deverá considerar-se a atuação de uma carga linear uniformemente distribuída, atuando horizontalmente a uma altura não superior a 1,20m, cujos valores característicos estão presentes na tabela 9 [63]. Para as zonas onde possa ocorrer sobrelotação significativa associada a eventos públicos, por exemplo estádios

desportivos, bancadas, palcos, salas de reunião ou conferências, a carga uniformemente distribuída deverá ser considerada de acordo com a categoria C5 [63].

Tabela 9 - Valores característicos das cargas consoante a utilização [63]

Utilização específica	Categoria	Carga linear uniformemente distribuída (q_k) [KN/m]
Atividades domésticas e residenciais	A	0,5
Escritórios	B	0,7
Locais de reunião (com exceção das utilizações correspondentes às categorias)	C1	0,7
	C2	1,0
	C4	1,0
	C5	3,0
Atividades comerciais	D	1,0
Zona de armazenamento e atividades industriais	E	2,0
Locais de circulação e de estacionamento para veículos ligeiros	F	(*)
Locais de circulação e de estacionamento para veículos médios	G	(*)

(*) Nota: No caso de cargas horizontais provocadas por veículos em barreiras de segurança, os valores de q_k devem ser estabelecidos caso a caso, podendo tomar-se como base para a sua qualificação a metodologia estabelecida no anexo B da NP EN 1991-1-6:2021 [64].

3.2.1.3. LOCALIZAÇÃO DA GUARDA (INTERIOR OU EXTERIOR)

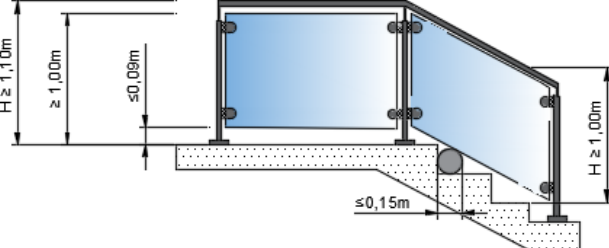
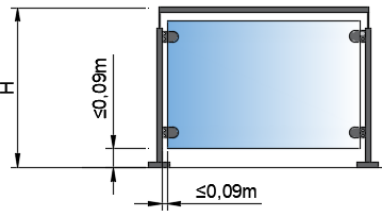
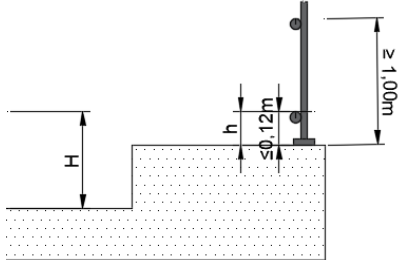
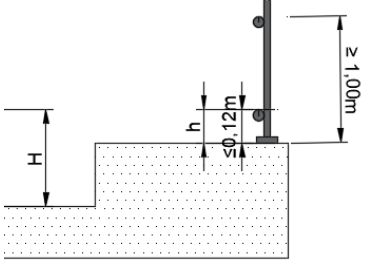
Neste ponto verifica-se a localização da guarda no edifício, isto é, se vai ser inserida no interior ou no exterior do edifício. Se for no interior, não é necessário verificar a guarda à ação do vento, apenas deve ser estabelecida a categoria de utilização, mas se for instalado no exterior tem que ser contabilizada também a ação do vento.

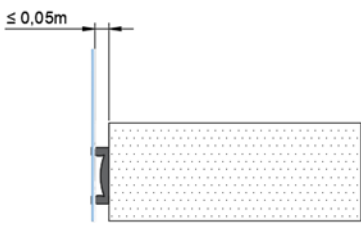
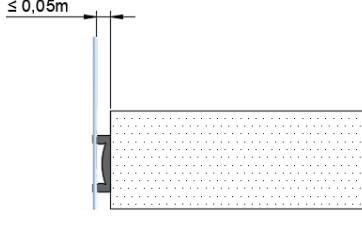
Esta análise pode assumir importância relevante quando a guarda em vidro for instalada num local de elevada exposição ao vento sendo crescente a influência em altura, podendo ter que existir uma análise dedicada. Considerar análise de ação do vento conforme ponto 3.2.1.6.

3.2.1.4. DEFINIÇÃO DA DIMENSÃO DO PAINEL

Neste ponto devem ser definidas as dimensões que o painel de vidro deve cumprir respeitando o descrito na norma NP 4491:2009 [51], tal como o descrito na tabela 10:

Tabela 10 - Dimensões das guardas a cumprir (adaptado [51])

Características essenciais	Guardas em escadas ou rampas	Guardas nos outros locais
Altura de proteção (H):	 Na zona dos degraus ou da rampa: $H \geq 1,00$ m Nos patamares: $H \geq 1,10$ m No espaçamento triangular formado pelo degrau e a guarda, não deve ser possível a introdução de um gabarito esférico de 0,15 m de diâmetro.	 $H \geq 1,10$ m
Características complementares		
Altura reduzida de proteção (h) e elementos de apoio	 Não devem existir elementos de apoio que facilitem a escalada, a mais de 0,12 m e a menos de 1,00 m do pavimento. As guardas podem comportar elementos de apoio desde que não haja redução da altura de proteção H. Se o elemento de apoio possibilitar o ajoelhar ou sentar, a altura reduzida de proteção h não deve ser inferior a 0,50 m.	 Não devem existir elementos de apoio que facilitem a escalada, a mais de 0,12 m e a menos de 1,00 m do pavimento. As guardas podem comportar elementos de apoio desde que não haja redução da altura de proteção H. Se o elemento de apoio possibilitar o ajoelhar ou sentar, a altura reduzida de proteção h não deve ser inferior a 0,50 m.

Guardas em plano avançado	 Medido na horizontal, em relação a esse limite não deve exceder 0,05 m;	 Medido na horizontal, em relação a esse limite não deve exceder 0,05 m;
---------------------------	--	--

3.2.1.5. CERTIFICADOS DISPONIBILIZADOS PELA MARCA

Neste ponto vai ser verificado se as dimensões definidas no ponto anterior estão ou não certificadas pelas marcas escolhidas, incluindo o cumprimento dos requisitos normativos definidos. Dependendo da marca escolhida, as dimensões definidas podem ou não estar certificadas, caso não estejam devem ser definidas novas dimensões, de modo a serem certificadas pela marca todas as dimensões.

De seguida estão definidos, na tabela 11, os ensaios normativos pelos quais as guardas devem passar.

Tabela 11 - Ensaio normativos que devem ser cumpridos [51]

Ensaio estáticos	Ensaio dinâmicos
Força estática horizontal: - Ensaio de deformação - Ensaio de segurança	Impacto no centro do preenchimento: - Choque com corpo duro de pequena dimensão - Choque com corpo mole de grande dimensão
Ensaio de deformação: • Força de 0,2 kN/m aplicada deve ser mantida durante 3 min; As deformações residuais devem ser registadas 3 min após a cessação do esforço. A flecha registada deve ser: • ≤ 1 mm no caso de guardas metálicas • ≤ 3 mm no caso de guardas constituídas por outros materiais.	Choque com corpo duro de pequena dimensão: • Choque com uma energia de 3,75 J. • Altura de queda do corpo de choque de 0,75 m.
Ensaio de segurança: • Força de segurança de 1,5 a força do ensaio de deformação deve ser aplicada por um período de 15 min, As deformações residuais devem ser registadas 3 min após a cessação do esforço.	Choque com corpo mole de grande dimensão: • Choque com uma energia de 600 J. • Altura de queda do corpo de choque de 1,20 m.

- No caso de guardas com prumos, a flecha registada deve ser inferior ou igual ao valor determinado pela expressão seguinte: $f = A / 125$ onde: f é a deformação residual admissível; A é a distância, medida na vertical, entre a superfície superior do elemento superior da guarda e a superfície de fixação do prumo. - No caso de guardas sem prumos, a flecha registada deve ser inferior ou igual ao valor determinado pela expressão seguinte: $f = L / 125$ onde: L é a distância, medida na horizontal, entre as superfícies de fixação da guarda.	No final devem ser registadas as características dimensionais de marcas provocadas, bem como eventuais degradações ou deformações residuais. As guardas devem ser consideradas como tendo um desempenho satisfatório se forem cumpridas as seguintes condições: - Aquando dos choques não deve ocorrer a projeção de quaisquer fragmentos provenientes da guarda que possam provocar danos físicos a pessoas que se encontrem nas imediações; - Após o choque, o preenchimento das guardas não deve permitir a passagem de um gabarito esférico de 0,15 m de diâmetro, nem deve ocorrer o desprendimento das peças do preenchimento da guarda
Força estática vertical: - força a aplicar é de 1,0 kN/m. A flecha registada deve ser: ≤ a 1 mm no caso de guardas metálicas ≤ a 3 mm no caso de guardas constituídas por outros materiais.	

3.2.1.6. VERIFICAÇÃO À AÇÃO DO VENTO

A verificação à ação do vento apenas é necessária se a guarda for instalada no exterior do edifício. Na verificação, devem ser considerados o deslocamento máximo e o desvio padrão de aceleração característica da estrutura à altura z ambos na direção do vento [65]. Para o cálculo do deslocamento máximo na direção do vento, deverá utilizar-se a força estática equivalente, F_w , definida de seguida [65]:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f q_p(z_c) A_{ref} \quad (1)$$

Onde:

$c_s c_d$: coeficiente estrutural

c_f : coeficiente de força relativo ao elemento da construção

$q_p(z_c)$: pressão dinâmica de pico à altura de referência z_c

A_{ref} : área de referência do elemento da construção

O coeficiente estrutural poderá ser considerado igual a um nas seguintes situações (caso contrário, calcular conforme definido na NP EN 1991-1-4 [65], anexo B):

- Para edifícios de altura inferior a 15m
- Para elementos de fachada e de cobertura cuja frequência própria seja superior a 5Hz
- Para edifícios de estrutura porticada que contenham paredes resistentes e cuja altura seja inferior a 100m e a 4 vezes a dimensão do edifício na direção do vento

O coeficiente de força para elementos retangulares deve ser calculado conforme o definido na NP EN 1991-1-4 [65]:

$$c_f = c_{f,0} \psi_r \psi_\lambda \quad (2)$$

Onde:

$c_{f,0}$: coeficiente de força para elementos de secção retangular com arestas vivas e sem livre escoamento em torno das extremidades (definido na NP EN 1991-1-4 [65])

ψ_r : coeficiente de redução para secções quadradas com cantos arredondados, depende do número de Reynolds (definido na NP EN 1991-1-4 [65])

ψ_λ : coeficiente de efeitos de extremidade para elementos cujas extremidades sejam livremente contornadas pelo vento (definido na NP EN 1991-1-4 [65])

Área de referência do elemento da construção deve ser calculada da seguinte forma [65]:

$$A_{ref} = lb \quad (3)$$

Onde:

l : comprimento do elemento

b : largura do elemento

O desvio padrão $\sigma_{a,x}$ da aceleração característica na direção do vento do ponto da construção situado à altura z , deverá ser obtido pela expressão seguinte [65]:

$$\sigma_{a,x}(z) = \frac{c_f \rho b l_v(z_s) v_m^2(z_s)}{m_{1,x}} R K_x \phi_{1,x}(z) \quad (4)$$

Onde:

ρ : massa volúmica do ar

$l_v(z_s)$: intensidade de turbulência à altura $z=z_s$, acima do solo

$v_m(z_s)$: velocidade média do vento para $z=z_s$

z_s : altura de referência

R : raiz quadrada do coeficiente de resposta em ressonância

K_x : coeficiente adimensional

$m_{1,x}$: massa equivalente para o modo fundamental de vibração na direção do vento

$n_{1,x}$: frequência fundamental de vibração da estrutura na direção do vento

$\phi_{1,x}(z)$: configuração do modo fundamental de vibração na direção do vento

3.2.2. PAVIMENTOS

Por razões de segurança é considerado que o piso é um elemento estrutural, é utilizado o vidro laminado recozido ou laminado termotransformado com intercalares de PVB, EVA ou Sentry Glass Plus entre outros, de forma a unir de forma permanente e estrutural as camadas de vidro. Um pavimento de vidro deve ser dimensionado num sistema que no mínimo apresente três camadas (laminas de vidro). O principal objetivo é o seguinte: se por alguma razão (direta ou indireta) uma lâmina de vidro quebrar, as restantes camadas podem, com segurança, suportar a carga estrutural até ser substituída a lâmina com danos (sendo sempre aconselhável, que o elemento não seja utilizado).

No Anexo 2 são tiradas conclusões específicas para cada um dos seguintes pontos, de forma a facilitar a consulta e a aplicação do guia interpretativo.

3.2.2.1. CATEGORIA DE UTILIZAÇÃO

Segundo a NP EN 1991-1-1:2009 [63], neste ponto é definida a categoria de utilização segundo a sobrecarga a que o piso em vidro vai estar sujeito. De seguida vão ser abordados alguns pontos que devem ser considerados na definição das sobrecargas e na consulta da tabela 12, definidos na NP EN 1991-1-1:2009 [63].

- Sempre que se justifique (por razões de segurança), deverão ser considerados valores de q_k e de Q_k superiores aos estabelecidos na tabela 12, (por exemplo, para as varandas e escadas, dependendo da ocupação e das dimensões), dado a possibilidade de ocorrerem comportamentos indeferidos não previsíveis (por exemplo; situação de uma escada quando utilizada além da sua utilização comum, pessoas a transportarem moveis)
- Para verificações locais deve ser considerada uma carga concentrada Q_k atuando isoladamente.

- Para cargas concentradas provocadas por prateleiras de armazenamento ou por equipamentos de elevação, Q_k deverá ser calculada caso a caso.
- Deve considerar-se que a carga concentrada atua em qualquer ponto do elemento construtivo, sobre uma zona com forma apropriada à utilização e ao tipo de pavimento.
- Os pavimentos com várias categorias de utilização devem ser calculados para a categoria que conduza a efeitos mais desfavoráveis no elemento em consideração (até porque diferentes massas resultam em diferentes tonalidades).
- No caso de existirem divisórias amovíveis, a carga uniformemente distribuída q_k que deverá ser considerada será:
 - 1) $q_k = 5,0 \text{ KN/m}^2$ para divisórias amovíveis com peso próprio $\leq 1,0 \text{ KN/m}$ de comprimento de parede
 - 2) $q_k = 8,0 \text{ KN/m}^2$ para divisórias amovíveis com peso próprio $> 1,0 \text{ KN/m}$ e $\leq 2,0 \text{ KN/m}$ de comprimento de parede
 - 3) $q_k = 1,2 \text{ KN/m}^2$ para divisórias amovíveis com peso próprio $> 2,0 \text{ KN/m}$ e $\leq 3,0 \text{ KN/m}$ de comprimento de parede

Tabela 12 - Categorias de utilização segundo a sobrecarga a que o piso em vidro vai estar sujeito [63]

Categoria de zonas carregadas	$q_k \text{ [KN/m}^2\text{]}$	$Q_k \text{ [KN]}$
Pavimentos		
A	2,0	2,0
B	3,0	4,0
C1	3,0	4,0
C2	4,0	4,0
C3	5,0	4,0
C4	5,0	7,0
C5	6,0	4,5
D1	4,0	4,0
D2	5,0	6,0
Varandas	5,0 (no mínimo numa faixa de 1m de largura adjacente ao parapeito)	Idêntica à do pavimento adjacente
Escadas	3,0 (no mínimo)	Idêntica à do pavimento adjacente

3.2.2.2. DIMENSÃO DO APOIO DO VIDRO

Segundo vários manuais da especialidade [52], são definidas as dimensões que os apoios para os vidros dos pisos devem ter, tal como descrito na tabela 13 e esquematizado na Fig. 12.

A estrutura de apoio deve ser rígida para que as deformações permaneçam inferiores ou iguais a $1/500$ do comprimento do lado considerado quando o pavimento é carregado. Por questões de segurança, a flecha do centro do pavimento não deverá exceder $1/200$ do lado mais pequeno e deve ser inferior a 10 mm [52].

A largura do apoio que segura o vidro é igual ou superior a 1,5 vezes a espessura do pavimento. Salvo a exceção quando o pavimento tem espessura superior a 30 mm, pode ser admitido que a largura do apoio seja igual à espessura do pavimento [52].

Tabela 13 - Dependência da largura do apoio em relação à espessura do pavimento (adaptado [52])

Se $e < 30\text{mm}$	$L \geq 1,5e$
Se $e \geq 30\text{mm}$	$L = e$

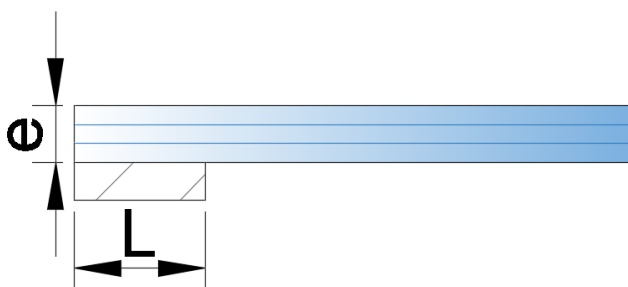


Fig. 12 - Representação das dimensões do apoio e do pavimento

3.2.2.3. PISO INTERIOR OU EXTERIOR

Neste ponto é estabelecido se o piso em vidro vai ser instalado no interior ou no exterior do edifício. O vidro escolhido tem de cumprir determinadas características consoante as ações a que vai estar sujeito, por exemplo: possuir serigrafia antiderrapante e qual a categoria de resistência ao deslizamento (ensaio de atrito - pêndulo). Estando o piso no exterior, a probabilidade de ficar molhado é maior, logo, o cuidado na escolha e instalação deste piso deve ser acrescido para que, o piso seja o mais seguro possível e não haja a possibilidade do utilizador escorregar.

Quer seja um piso de vidro interior quer seja um piso de vidro exterior deverá passar por processos de tratamento antiderrapante, para serem totalmente seguros. O vidro tem um atrito reduzido e consequentemente fica mais suscetível ao deslizamento. Contudo, esta limitação é ultrapassada com a adição de uma camada adicional em vidro, de espessura inferior, na face superior, com tratamento antiderrapante, podendo este ser executado na lâmina mais superior (sem adição de camadas extras) [7]. Pode definir-se como sendo uma impressão cerâmica feita em serigrafia e endurecida durante a têmpera do vidro. Depois de aplicado ao vidro, as fritas (massa vítrea utilizada na preparação de tintas e esmaltes) são vitrificadas e fundidas na massa do vidro durante a têmpera. O resultado é uma camada rugosa sobre o vidro, altamente resistente a fatores mecânicos e químicos [7]. O vidro não tratado fica escorregadio, especialmente quando molhado.

O nível de atrito poderá ser verificado através de ensaio, sendo comum o ensaio de pêndulo britânico.

O ensaio de atrito com pêndulo britânico é realizado com o objetivo de calcular a resistência à derrapagem da superfície em teste (PTV), neste caso, o vidro. Segundo a norma EN 16165:2012 [66], o ensaio pode ser realizado em laboratório ou no local, a superfície de teste pode estar seca ou húmida (com água) e pode ser usada uma borracha dura ou mole no pêndulo (borracha 57 ou borracha 96).

Antes do ensaio deve ser feita uma verificação, consoante a borracha deslizante usada, com três superfícies com valores de PTV, altos, médios e baixos [66]. Tal como se mostra na tabela 14:

Tabela 14 - Verificação da superfície para os dois tipos de borracha (adaptado [66])

Superfície de verificação	PTV	
	Borracha 57	Borracha 96
Vidro float	5 a 10	5 a 10
Superfície de referência	34 ± 5	34 ± 5
Superfície de verificação	58 ± 5	61 ± 3

Quando o ensaio é realizado no laboratório, a temperatura deve ser controlada a 20 ± 2 °C durante pelo menos 2 horas antes do início do ensaio e durante a sua duração. A superfície ou amostras a serem testadas devem ser mantidas por um mínimo de 30 minutos a (20 ± 2) °C antes de testadas [66].

Depois de realizado o ensaio, se é usada a borracha 57, deve ser calculado o valor médio da resistência à derrapagem PTV corrigido, à temperatura de 20°C, segundo a fórmula [66]:

$$PTV_{20} = PTV + (0,55 * \Delta T) \quad (5)$$

Onde:

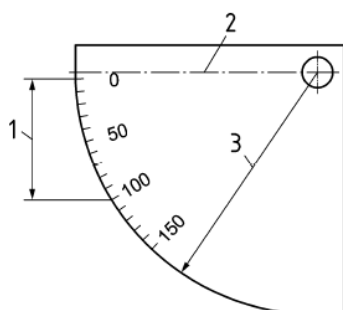
PTV₂₀: é o valor médio da resistência à derrapagem corrigido para 20 °C, arredondado

PTV: é o valor médio medido da resistência à derrapagem;

ΔT : é a temperatura da borracha (20 °C)

Nenhuma correção de temperatura é necessária para PTV ao usar borracha deslizante 96.

O resultado deve ser lido no equipamento, tal como demonstrado na Fig. 13:



- 1- queda (entre 0 e 100 unidades de PTV)
- 2- linha horizontal que passa pelo eixo de rotação
- 3- raio de escala, 305 mm

Fig. 13 - Exemplo de como deve ser feita a leitura [66]

Vão ser apresentados, na tabela 15, as primeiras cinco categorias de atrito, para as restantes categorias deve ser consultada a tabela C.4, da norma EN 16165:2012 [66].

Tabela 15 - Primeiras cinco categorias de atrito (adaptado [66])

Categoria	Queda	Abaixo da horizontal
0	0,00	10,16
5	7,13	17,29
10	14,26	24,42
15	21,39	31,55
20	28,52	38,68

A norma UNE-ENV 12633:2003 [67] também apresenta uma classificação para a resistência ao deslizamento, com o Método do Pêndulo. Através deste método, é possível determinar os coeficientes de resistência ao deslizamento do pêndulo quando este se encontra em basculamento sobre a superfície do revestimento que se pretende testar [16]. A classificação final é resultante do valor da resistência ao deslizamento, determinando a classe do mesmo e em que locais deve ser aplicado. A tabela 16 apresenta esta classificação.

Tabela 16 - Classificação para a resistência ao deslizamento (adaptado [67])

Resistência ao deslizamento (Rd)	Zonas de aplicação	Classe
$Rd \leq 15$		0
$15 < Rd \leq 35$	Zonas interiores secas	1
$35 < Rd \leq 45$	Zonas interiores húmidas	2
$Rd > 45$	Zonas industriais com derrame de líquidos	3

3.2.2.4. DEFINIÇÃO DA DIMENSÃO DO VIDRO

Quanto maior o painel, mais pesada será a solução de piso final isto é, a dimensão que vai ser definida depende do peso que a estrutura/elemento do edifício pode suportar. O peso do vidro pode ser considerado como aproximadamente 2,5 kg/m²/mm de espessura [68].

As dimensões reais para a largura e o comprimento de um painel não poderão ser maiores do que as dimensões nominais aumentadas/reduzidas pela tolerância, t (esquemático na Fig. 14).

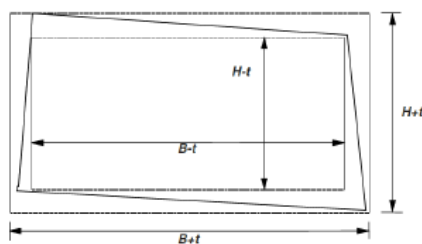


Fig. 14 - Dimensões nominais aumentadas/reduzidas pela tolerância [69]

Para o vidro laminado, segundo a norma EN ISO 12543-5: 1998 [70], as tolerâncias para o comprimento e largura nominais são as referidas na tabela 17.

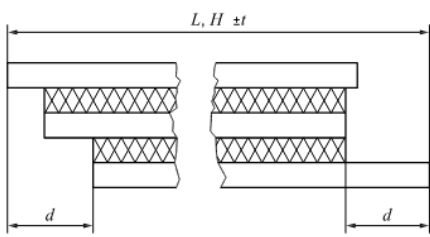
Tabela 17 - Tolerâncias para o comprimento e largura nominais [70]

Dimensões nominais de lado (B ou H)	Tolerância t (mm)		
	Espessura nominal do vidro laminado d ≤ 8 mm	Espessura nominal do vidro laminado d > 8 mm	
		Todos os painéis de espessura nominal < 10 mm	Pelo menos um painel de espessura nominal ≥ 10 mm
≤ 2000	+ 3.0 - 2.0	+ 3.5 - 2.0	+ 5.0 - 3.5
≤ 3000	+ 4.5 - 2.5	+ 5.0 - 3.0	+ 6.0 - 4.0
> 3000	+ 5.0 - 3.0	+ 6.0 - 4.0	+ 7.0 - 5.0
Nota: se um dos componentes do vidro laminado for um vidro temperado ou termoendurecido deverá ser considerada uma tolerância adicional de ± 3.0 mm			

No caso do vidro laminado, deverá também ter-se em conta o desalinhamento admissível. O desalinhamento d resulta de um mau alinhamento de uma ou mais arestas dos painéis de vidro que formam o vidro laminado [70]. Na figura da tabela 18 representa-se o método de determinação do máximo desalinhamento, d, admissível. O desalinhamento máximo admissível deverá ser tido em conta nas tolerâncias ao comprimento e largura.

Os valores máximos de d, de acordo com a norma EN ISO 12543-5: 1998 [70], encontram-se indicados na tabela 18.

Tabela 18 - Valores máximos de d [70]

Dimensões nominais B ou H (mm)	Desalinhamento máximo admissível d (mm)	
$B, H \leq 1000$	2.00	
$1000 < B, H \leq 2000$	3.00	
$2000 < B, H \leq 4000$	4.00	
$B, H > 4000$	6.00	

3.2.2.5. TIPO DE MATERIAL DO APOIO (DUREZA)

Sabe-se que ocorrem danos macroscópicos no vidro quando este está em contacto direto com elementos metálicos ou de maior dureza, por isso esses materiais não podem ser usados como apoios. O vidro tem uma dureza de 6,5 na escala de Mohs (ou 50 Shores) que quantifica a dureza dos minerais, indicando uma estimativa qualitativa da resistência que o vidro tem ao risco. As matérias de apoio devem ter uma dureza entre 60 a 80 Shore [52].

Podem ser usados polímeros entre eles, borrachas, para os apoios. Para determinar a dureza da borracha a aplicar, deve ser elaborado o ensaio, método do durómetro – dureza de Shore, presente na norma NP ISO 7619-1:2010 [71]. O ensaio consiste em aplicar uma força suficiente para obter um contacto firme entre o pé pressor e o provete e fazer a leitura ao tempo especificado depois do pé pressor estar em contacto firme com o provete. O tempo normal de ensaio é de 3 segundos para a borracha vulcanizada e 15 segundos para a borracha termoplástica. Borrachas de tipos desconhecidos deverão ser tratadas como vulcanizadas [71]. Devem ser feitas cinco medições de dureza em diferentes posições do provete, afastadas pelo menos 6mm para o tipo A, D e AO e 0,8mm para o tipo AM, e determinar a mediana. O resultado deve ser apresentado com o valor medido da força e o tipo de durómetro usado, por exemplo, 75 Shore A [71].

3.2.2.6. DIMENSÃO GLOBAL DO PISO (CARGAS ELETROSTÁTICAS)

Dependendo do tipo de material do apoio estabelecido no ponto anterior (tendo em conta os valores da respetiva condutividade elétrica), pode ou não ser necessário ter que ligar o apoio à terra (exemplificado na Fig.15). As pessoas ao passarem por cima do vidro podem ser sujeitas a uma diferença de potencial, que será minimizada se se conectarem os apoios à terra, de forma a se escoarem pela referida ligação a carga eletrostática “em excesso”. A segurança das pessoas deve estar sempre em primeiro lugar!

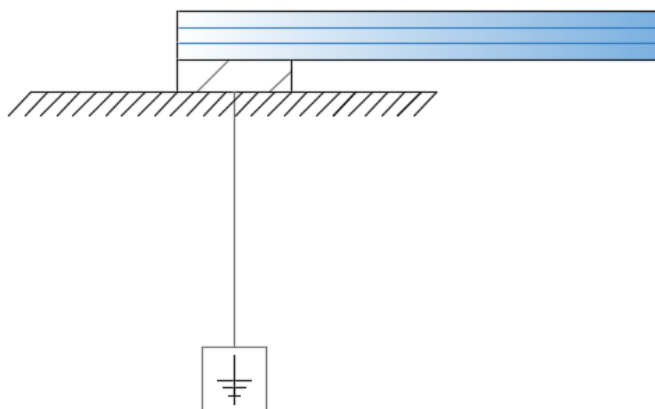


Fig. 15 - Exemplificação da ligação à terra do apoio

Este aspeto assume maior importância quando o piso apresenta grande dimensão (mesmo que formado por vários painéis de vidro).

3.2.3. SISTEMAS DE FACHADAS

Os vidros adequados à utilização em fachadas são os vidros isolantes, normalmente, no interior vidro laminado e no exterior temperado. A parede envidraçada deve ser constituída por vidro isolante permitindo obter um melhor isolamento térmico. Consiste em encerrar entre dois vidros uma câmara de ar de forma a limitar as trocas térmicas por convecção e tirar proveito da baixa condutividade térmica do ar escolhido. A escolha do vidro apropriado está dependente do tipo de fachada e respetivo sistema de fixação ou caixilharia e das ações a que o vidro estará sujeito, devendo ser escolhido tendo em consideração os pontos seguintes.

No Anexo 3 são tiradas conclusões específicas para cada um dos seguintes pontos, de forma a facilitar a consulta e a aplicação do guia interpretativo.

3.2.3.1. DIMENSIONAMENTO AO VENTO E AO PESO PRÓPRIO

Dimensionamento para a ação do vento das fachadas

A ação do vento para além de variar tanto no tempo como no espaço, também depende das características da estrutura do sistema, tornando-se, assim muito complexa a sua quantificação.

Segundo a norma NP EN 1991-1-4:2010 [65], as pressões ou forças podem ser resumidas da seguinte forma [72]:

- Pressões externas – pressões normais às superfícies exteriores resultantes da ação direta do vento;
- Pressões internas – pressões normais que atuam sobre as superfícies interiores de forma indireta devido à permeabilidade das superfícies externas;
- Forças normais – forças que atuam perpendicularmente à superfície que resultam das pressões externas;

- d) Forças tangenciais – forças que atuam tangencialmente à superfície que resultam do atrito entre o vento.

Um sistema de fachadas em vidro pode ser dimensionado à ação do vento conforme os seguintes passos (resumidamente, até porque há outros métodos de cálculos), o objetivo final da dissertação não é o dimensionamento de fachadas em vidro. Em primeiro lugar, devem ser reunidos alguns aspetos relativamente ao edifício tal como a orientação de cada fachada, o número de pisos acima do solo e respetiva altura, tipo de cobertura (por exemplo: em terraço), altura do edifício e localização. As seguintes fórmulas foram obtidas quer pela consulta do Manual de Dimensionamento de Fachadas Envidraçadas [72], quer pela consulta da norma NP EN 1991-1-4: 2010 [65].

De seguida deve ser calculado o **valor de referência da velocidade do vento** a partir da seguinte fórmula:

$$v_b = v_{b,0} * c_{dir} * c_{season} \quad (6)$$

Onde :

c_{dir} : Coeficiente de direção

c_{season} : Coeficiente sazonal que pode variar com a estação do ano

$v_{b,0}$: valor básico da velocidade de referência do vento

Em terceiro lugar, deve ser calculada a **velocidade média do vento a uma altura, z** (é independente da direção do vento), depende da orografia e da rugosidade do terreno, da seguinte forma:

$$v_m(z) = v_b * c_r(z) * c_0(z) \quad (7)$$

Onde:

$c_r(z)$: coeficiente de rugosidade

$c_0(z)$: coeficiente de orografia

Quer o coeficiente de rugosidade, quer o coeficiente de orografia vão ser calculados de seguida.

O **coeficiente de rugosidade**, $c_r(z)$, depende da altura acima do solo e da rugosidade do terreno, tem em conta também a variabilidade da velocidade média do vento no local em estudo. Pode ser calculado para as duas situações seguintes:

- Para $z_{min} \leq z \leq z_{max}$:

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (8)$$

Onde:

k_r : coeficiente de terreno que depende do comprimento de rugosidade, z_0

z_0 : comprimento de rugosidade

- Se $z < z_{\min}$:

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad (9)$$

O **coeficiente de terreno**, k_r , que depende do comprimento de rugosidade:

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (10)$$

Onde:

$z_{0,II}$: comprimento de rugosidade de um terreno da categoria II com o valor de 0,05m

Para aplicação das expressões anteriores são apresentados na tabela 19 valores de z_0 e $z_{\min}$ para cinco categorias de terreno e uma altura máxima $z_{\max} = 200\text{m}$ [65].

Tabela 19 - Categorias e parâmetros de terreno [72]

Categoria	Descrição da orografia	z_0	$z_{\min}$
0	Mar ou zona costeira exposta aos ventos de mar	0,003	1
I	Lagos ou zona plana e horizontal com vegetação negligenciável e livre de obstáculos	0,01	1
II	Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados, e.g. árvores e/ou edifícios, com separações entre si de, pelo menos 20 vezes a sua altura	0,05	2
III	Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si, no máximo, 20 vezes a sua altura, e.g. aldeias, zonas suburbanas, florestas permanentes	0,3	5
IV	Zona na qual pelo menos 15% da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15m	1	10

O **coeficiente de orografia**, c_0 , permite determinar a velocidade média do vento sobre colinas isoladas e escarpas em regiões não onduladas nem montanhosas, v_m , tendo como referência a velocidade do vento na base da colina, v_{mf} [72] .

Em colinas isoladas ou em cadeias, ou em falésias e escarpas, a velocidade do vento varia em função do ângulo do declive, ϕ , na direção do vento, da vertente virada a barlavento. O valor médio do ângulo de declive é: $\phi = \arctan(H/Lu)$. O terreno a barlavento poderá ser tomado em consideração até uma distância de 10 vezes a altura do elemento orográfico isolado, $Lu \leq 10 \times H$ [72].

Coeficiente de orografia, c_0 , depende da inclinação da vertente em falésias e escarpas, ou para colinas isoladas ou em cadeia,

$$c_0 = \begin{cases} 1 & \text{para } \phi < 0,05 \\ 1 + 2 * s * \phi & \text{para } 0,05 \leq \phi < 0,3 \\ 1 + 0,6 * s & \text{para } \phi \geq 0,3 \end{cases} \quad (11)$$

Onde:

s: coeficiente obtido considerando a relação z/L_e (deve ser consultado o Manual de Dimensionamento de fachadas envidraçadas [72])

Em quarto lugar, deve ser calculada a **velocidade de pico**, v_p , a partir da velocidade média, acrescentando a componente devida à turbulência, caracterizada por um fator, G. Determina-se da seguinte forma:

$$v_p = v_m(z) * G \quad (12)$$

Onde:

$$G = \sqrt{1 + \frac{7 * k_I}{c_0(z) * \ln(z/z_0)}} \quad (13)$$

Sendo o valor da turbulência $k_I = 1$, substituindo os restantes valores fica:

$$v_p = v_b * c_r(z) * c_0(z) * \sqrt{1 + \frac{7 * k_I}{c_0(z) * \ln(z/z_0)}} \quad (14)$$

De seguida deve ser calculada a **pressão dinâmica de pico** a partir da velocidade, v_p segundo a seguinte equação de Bernoulli:

$$q_p(z) = \frac{1}{2} * \rho * v_p^2 (z^2) \quad (15)$$

Os valores de ρ poderão ser fornecidos consoante cada região ou País. No caso de Portugal, o valor recomendado é 1,25 kg/m³ [72].

Admite-se que $c_0(z)$ e k_1 são igual a um, substituindo na expressão fica:

$$q_p(z) = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 * (c_r(z))^2 * \left(1 + \frac{7}{\ln(z/z_0)}\right) \quad (16)$$

Em sexto lugar deve ser calculado o **coeficiente de exposição**, é obtido diretamente de forma aproximada através da consulta do ábaco presente na NP EN 1991-1-4:2010 [65]. Resulta do produto do fator de rajada pelo coeficiente de rugosidade do terreno. Calcula-se da seguinte forma, considerando, $c_0(z)$ e k_1 igual a um:

$$c_e(z) = (c_r(z))^2 * \left(1 + \frac{7}{\ln(z/z_0)}\right) \quad (17)$$

Ou

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_p(0)} \quad (18)$$

De seguida deve ser calculada a pressão exercida em superfícies, uma pressão exercida contra a superfície é considerada positiva e uma sucção atuando em sentido contrário é considerada negativa.

O valor da **pressão total exercida** num elemento da construção, w , dependendo do sentido de atuação, pode ser agravado ou diminuído, é a soma vetorial das pressões atuantes no interior e no exterior do elemento [72]. Pode ser também consultada a norma NP 4517:2015 [45] para valores de cálculo da pressão do vento atuante em fachadas leves, quer para o estado limite último, quer para o estado limite de utilização. Pode ser calculada da seguinte forma:

$$w = w_e - w_i \quad (19)$$

O valor da **pressão exercida pelo vento nas superfícies exteriores**, w_e , é obtido através da expressão:

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe} \quad (20)$$

Onde:

$q_p(z_e)$: pressão dinâmica de pico referida à altura, z_e

z_e : altura de referência para a pressão exterior

c_{pe} : coeficientes de pressão para pressão exterior (definido na NP EN 1991-1-4:2010 [65])

O valor da **pressão exercida pelo vento nas superfícies interiores**, w_i , é obtido através da expressão:

$$w_i = q_p(z_i) * c_{pi} \quad (21)$$

Onde:

$q_p(z_i)$: pressão dinâmica de pico referida à altura, z_i

z_i : altura de referência para a pressão interior

c_{pi} : coeficientes de pressão para pressão interior

Os valores dos **coeficientes de pressão**, c_{pi} , são dados por:

$$c_{pi} = \begin{cases} 0,75 * c_{pe} & \text{para } A_{pred} = 2 * A_{rem} \\ 0,90 * c_{pe} & \text{para } A_{pred} \geq 3 * A_{rem} \end{cases} \quad (22)$$

Onde:

A_{pred} : área das aberturas na face predominante

A_{rem} : área das aberturas nas faces não predominantes

A **altura de referência** a considerar, z_e , para as fachadas a barlavento em edifícios de planta retangular depende da relação entre a altura, h , do edifício e da largura a barlavento, b . Nestas situações distinguem-se três casos [72]:

- Edifícios cuja altura, h , é inferior a b são considerados como tendo uma única altura;

- Edifícios cuja altura, h , é superior a b mas inferior a $2xb$ são considerados dois valores para a altura de referência: desde o solo até uma altura igual a b , e a outra parte superior restante;
- Edifícios cuja altura h é superior a $2xb$ são consideradas diversas partes: uma parte inferior a partir do solo até uma altura igual a b ; uma parte superior também igual a b , medida a partir do topo, e uma zona intermédia, entre as partes superior e inferior, que poderá ser dividida em faixas horizontais com uma altura h_{strip} .

O procedimento mais frequente para determinar quer a distribuição da pressão dinâmica ao longo da parede de sotavento, quer a das paredes laterais consiste em tomar como altura de referência a altura do edifício [72].

A altura de referência, z_i , para pressões interiores é igual à altura de referência, z_e .

A força, F_w , pode ser determinada a partir de coeficientes de força:

$$F_w = c_s c_d * c_f * q_p(z_e) * A_{ref} \quad (23)$$

Onde:

$c_s c_d$: coeficiente estrutural em geral igual à unidade (definido na NP EN 1991-1-4:2010 [65])

c_f : coeficiente de força relativo ao elemento da construção (definido na NP EN 1991-1-4:2010 [65])

$q_p(z_e)$: pressão dinâmica de pico à altura de referência z_e

A_{ref} : área de referência do elemento da construção

Ou a partir de pressões (resultante da soma das seguintes equações):

$$F_{w,e} = c_s c_d * \sum w_e * A_{ref} \quad (24)$$

$$F_{w,i} = \sum w_i * A_{ref} \quad (25)$$

$$F_r = c_{fr} * q_p(z_e) * A_{fr} \quad (26)$$

Onde:

c_{fr} : coeficiente de atrito

A_{fr} : área de superfície exterior paralela ao vento

Fachadas VEC e VEP

As ações exteriores são transferidas para os perfis de apoio pelos envidraçados (ao contrário do que acontece nos sistemas pontuais – fachadas VEA). Este tipo de fachada comporta-se como um conjunto de lajes “verticais”, tal como os pavimentos de um edifício. É recomendável que os perfis verticais sejam solicitados à tração devido ao peso próprio dos painéis (ação permanente que lhes é transferida pelas travessas (representadas na Fig. 16)) [72].

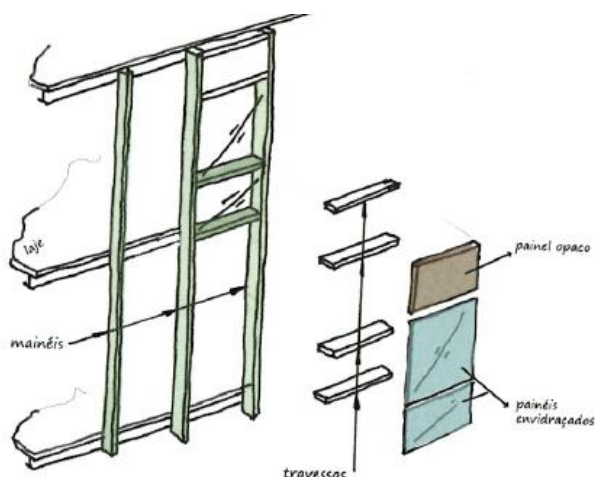


Fig. 16 - Configuração dos elementos numa fachada perfilada [72]

Na verificação da estabilidade e da segurança dos elementos da fachada que transferem ações dos envidraçados e outros elementos de revestimento para a estrutura do edifício devem ser contabilizados entre outros, os deslocamentos relativos entre estes e a estrutura do edifício a que se encontram ligados [72]. Normalmente, essa ligação é feita através de perfis verticais. Só é possível prever o valor a dar às folgas entre os elementos da estrutura do edifício e os elementos de fachada, quando são conhecidos os diferentes valores de deslocamento e deformação da estrutura principal.

O peso próprio dos envidraçados provoca esforços de compressão ou esforços de tração nos mainéis (montantes) conforme a localização do apoio fixo, impedindo quaisquer deslocamentos verticais relativos entre estes e a estrutura do edifício [72]. No caso de perfis que se localizam no interior do plano da fachada, o seu peso próprio e o dos painéis é transferido para os apoios que se situam na laje inferior, e os mainéis ficam sujeitos a esforços de compressão (“mainéis interiores”) [72]. No caso dos perfis que andam por fora da estrutura do edifício, estes são suspensos de modo a estarem submetidos a esforços de tração devido ao peso próprio dos painéis e dos perfis (“mainéis exteriores”) [72].

- Mainéis interiores – nas fachadas em que os perfis têm o comprimento igual ao pé direito, estes recebem o peso próprio dos envidraçados diretamente ou através das travessas, ficando submetidos à flexão composta com compressão em virtude de o apoio fixo se localizar no pavimento inferior [72].
- Mainéis exteriores – estando os mainéis instalados pelo exterior, é mais vantajoso localizar o apoio fixo no extremo superior dos perfis evitando-se o problema da encurvadura, já que estes se encontram em flexão com tração uma vez que o peso próprio dos materiais é absorvido por este apoio [72].

Quando se proceder à verificação da segurança e/ou ao dimensionamento dos perfis de fachadas, deve ter-se sempre em conta que as ações horizontais são transferidas das chapas e/ou painéis envidraçados para os perfis e as ações perpendiculares à fachada são transferidas diretamente pelos painéis ou indiretamente pelas travessas para os mainéis [72]. O peso próprio dos painéis envidraçados é transferido pelos calços, estrategicamente localizados, como forças pontuais nas travessas.

Nas fachadas cortina, os mainéis correm pelo exterior das lajes ou vigas de bordo vencendo a altura de um ou dois pisos consecutivos. Neste caso, os perfis trabalham em flexão composta com tração, por

forma a evitar a encurvadura dos mesmos, desde que o apoio duplo se situe na extremidade superior [72].

São possíveis duas vias para a verificação da segurança: conhecendo as características das secções, fornecidas pelos fabricantes, verificar a sua adequabilidade, ou face aos limites impostos pela regulamentação aplicável, determinar os valores mínimos para as características das secções, por exemplo, o módulo plástico de flexão, a área de corte e momento de inércia [72].

De uma forma geral, para os vão envidraçados apoiados em perfis de alumínio, a distribuição das ações é obtida da mesma forma que as ações das lajes são transmitidas ao vigaamento dos pavimentos.

A deformação das travessas no plano da fachada assume especial importância, uma vez que a deformação nesse plano assume um caráter permanente devido ao peso dos painéis que determina ou pode condicionar o valor das folgas entre os painéis, que deve ser suficiente para evitar que haja contacto que possa provocar a quebra ou empenamento dos envidraçados.

Fachadas Exteriores Agrafadas (VEA)

As fachadas exteriores agrafadas podem ser do tipo fachadas complanadas ou fachadas com curvatura. As fachadas complanares são constituídas por tirantes numa só direção ou em rede e os painéis envidraçados, normalmente, são iguais e geometricamente retangulares [72]. Pelo contrário, as fachadas com curvatura assumem diversas formas geométricas.

Nos sistemas de fixação pontual, o silicone não tem função estrutural apenas vedante. As deformações são superiores comparativamente às que se verificam nos sistemas lineares, e por isso, é exigido uma maior espessura às chapas. Por outro lado, as forças de inércia devidas à ação sísmica e ao peso próprio são também superiores. Por estas razões, nas soluções com fixação pontual, para que as espessuras não sejam muito grandes, é necessário recorrer a soluções com vidro temperado ou termoendurecido [72]. Consoante o tipo de contravento do painel envidraçado, a estrutura da fachada pode assumir diferentes configurações, do tipo; pórtico/vela, sistema de tirantes (rede), suspensas por cabos de aço (rede), glass fin's, entre outros.

As ações são transferidas dos envidraçados para as aranhas que, por sua vez, são aparafusadas aos tirantes da fachada. Em função do efeito combinado do peso próprio dos painéis e das ações variáveis que os solicitam, as cruzetas das aranhas podem ficar sujeitas a diversos tipos de esforços, axiais, de flexão, de corte e de torção [72].

Nos casos em que os vãos das fachadas são relativamente reduzidos ou quando as ações são unicamente devidas ao peso próprio, os tirantes desenvolvem-se apenas ao longo das juntas dos painéis numa só direção. Quando os vãos são maiores e/ou as ações laterais são de maior valor, os sistemas unidirecionais apresentam-se como treliças (orientam-se ao longo do menor vão) em que os tirantes absorvem os esforços de tração, aumentando ou diminuindo o estado de tensão pré-instalado, mantendo o seu estado de tração [72].

Depois do exposto para os diferentes sistemas de fachada, o vidro instalado deve cumprir o descrito nas normas CEN / TS 19100-2:2021 [73] e EN 16612 [74] para os limites da deformação máxima.

O valor máximo da flecha, $\delta_{máx}$, é calculado a partir da secção bruta dos perfis, desprezando o possível aumento de rigidez proporcionado pelos próprios painéis envidraçados.

Segundo a norma CEN/ TS 19100-2:2021 [73], a flecha máxima δ_{max} , devida ao peso próprio dos painéis, no caso da ação do vento, é definida em função da distância entre apoios, L, dos mainéis e/ou das travessas.

Para fachadas em que o vidro é apoiado em todos os lados ou é apoiado em dois ou três lados é definida, no ponto 5.7 da NP EN 13830: 2015+A1:2021 [44], a deformação máxima para um vidro com todos os lados apoiados deve obedecer à condição:

$$\delta_{max} \leq \begin{cases} \frac{L}{200} & \text{se } L \leq 3\,000 \text{ mm} \\ 5\text{mm} + \frac{L}{300} & \text{se } L > 3\,000 \text{ mm} \end{cases} \quad (27)$$

Todas as deformações máximas descritas de seguida estão também descritas na tabela 20.

A deformação máxima no centro do vidro deve ser L/50, para fachadas apoiadas em todos os lados.

Para fachadas em que o vidro é apoiado em dois ou três lados a deformação máxima no lado livre deve ser: L/100.

Para fachadas apoiadas pontualmente em dois ou três lados, a deformação máxima dos lados deve ser L/150. A deformação máxima para o lado livre deve ser: L/100 e a no centro deve ser: L/50.

A deformação máxima para uma fachada com um ponto fixo deve ser L/100 para o lado livre e L/50 para o centro do painel.

Tabela 20 - Deformações máximas típicas para vidro e suportes [73]

	Condições de suporte	Deformação máxima dos lados apoiados	Deformação máxima do lado livre	Deformação limite no centro
Componentes do vidro	Apoiado em todos os lados	De acordo com o ponto 5.7 da EN 13830:2015		L/50
	Apoiado em dois ou três lados	De acordo com o ponto 5.7 da EN 13830:2015	L/100	
	Apoiado pontualmente em dois ou três lados	L/150	L/100	L/50
	Ponto fixo		L/100	L/50

Resistência ao vento

As fachadas leves devem ser submetidas a ensaios de resistência ao vento segundo a norma EN 12179:2000 [75] e os respectivos resultados avaliados de acordo com a norma EN 13116:2024 [76]. Se forem folhas móveis devem ser submetidas a ensaio de resistência ao vento de acordo com a norma EN 12211:2016 [77] e os respectivos resultados classificados de acordo com a norma EN 12210:2016 [78].

No caso de fachadas leves em vidro, não estão definidas classes que compilem os resultados de ensaio, ao contrário do que acontece para fachadas com folhas móveis. Assim, deverão ser comparados os valores de pressão de ensaio e a respetiva flecha obtida com os critérios de pressão do vento, presentes na tabela 21, referente ao estado limite de utilização, e com a flecha máxima admissível de 1/200 do vão (em termos relativos) e 15mm (em termos absolutos).

Tabela 21 - Valor de cálculo da pressão do vento atuante em fachadas leves com vidro [79]

Cota	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
< 10	1000	1310	1850	1210	1580	2240
10m a 15m	1000	1450	2000	1210	1760	2420
15m a 18m	1070	1520	2080	1290	1840	2510
18m a 28m	1240	1720	2270	1500	2080	2750
28m a 40m	1410	1900	2440	1710	2300	2960
40m a 50m	1530	2020	2560	1860	2440	3100
50m a 60m	1640	2130	2660	1990	2580	3220
60m a 70m	1740	2230	2750	2110	2690	3320
70m a 80m	1840	2310	2830	2220	2800	3420
80m a 90m	1920	2400	2900	2330	2900	3500
90m a 100m	2000	2470	2960	2420	2990	3580

3.2.3.2. COMPORTAMENTO AO AR

Permeabilidade ao ar

De forma a ser garantido o conforto no interior do edifício, a permeabilidade ao ar das fachadas leves é um parâmetro de grande importância. A permeabilidade ao ar deve ser limitada de forma a, primeiro, “reduzir as perdas de calor, limitando a potência da instalação de aquecimento e o consumo anual de energia” e, segundo, “evitar as correntes de ar frio” [79]. Os critérios de seleção de caixilharia, tendo em conta a permeabilidade ao ar, devem ser determinados conforme as correntes de ar causadas pelos picos momentâneos da velocidade do vento e as perdas de calor através da renovação de ar dos compartimentos associadas a ventos que se fazem sentir durante longos períodos de tempo.

Assim partiu-se do princípio de que numa situação de vento forte pouco frequente a permeabilidade ao ar das folhas móveis das fachadas leves deve ser limitada de forma a não promover uma renovação do ar superior ao volume do compartimento onde está instalada por hora [79]. Segundo o Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios esta renovação de ar é apontada como referência para o cálculo das perdas térmicas pelo que se justifica que só raramente seja excedido [79]. Para esta situação considerou-se relevante a velocidade do vento que é excedida em 2% do tempo.

No caso das folhas fixas das fachadas leves, considera-se que a sua permeabilidade ao ar deve ser suficientemente baixa para que possa ser desprezada, sem que a conservação de energia do edifício seja significativamente comprometida. Assim, estabeleceu-se, no domínio destas recomendações que a

permeabilidade ao ar da fachada leve (partes fixas) não deve exceder 0,005 renovações por hora do volume de influência da fachada, para uma velocidade do vento excedida em 10% do tempo, e que também não deve exceder 0,010 renovações por hora do volume de influência da fachada, para uma velocidade do vento excedida em 2% do tempo [79]. Considerou-se como volume de influência da fachada o volume com o lado igual à largura da fachada leve, a altura igual ao pé direito e a profundidade de 15 metros [79]. Note-se que, para edifícios mais profundos, a permeabilidade ao ar irá corresponder a uma renovação do ar inferior. No caso de edifícios com menos de 15 metros de profundidade, os valores obtidos continuam a ser suficientemente baixos e, portanto, negligenciáveis.

No caso das fachadas, uma vez que se trata de elementos cuja reparação é mais difícil e dispendiosa e uma vez que, tendencialmente, abrangem uma parte significativa da envolvente do edifício, considerou-se a combinação dos coeficientes de pressão interior e exterior (de acordo com o RSA) mais desfavorável, sendo $\delta_p = \delta_{pe} - \delta_{pi} = 0,8 + 0,3 = 1,1$ [79].

Tratando-se de um estado limite de utilização, o coeficiente de segurança a adotar é 1,0.

Para a classificação das folhas fixas das fachadas leves relativamente à permeabilidade ao ar de acordo com a norma EN 12152:2002 [80], considera-se a expressão $\Delta P = \Delta P_{ref} * (Q/Q_{ref})^{3/2}$. Neste sentido, os valores das pressões-limite (em Pa) para cada classe de permeabilidade ao ar são os estabelecidos na tabela 22, respetivamente para o número de renovação horárias do ar de 0,005 e de 0,010 para o volume de influência da fachada [79]:

Tabela 22 - Valores das pressões-limite (em Pa) para cada classe de permeabilidade ao ar [79]

Classes	$P_{0,1}$	$P_{0,02}$
A1	$P_{0,1} \leq 20$	$P_{0,02} \leq 32$
A2	$20 \leq P_{0,1} \leq 41$	$32 \leq P_{0,02} \leq 65$
A3	$41 \leq P_{0,1} \leq 61$	$65 \leq P_{0,02} \leq 97$
A4	$61 \leq P_{0,1} \leq 81$	$97 \leq P_{0,02} \leq 129$
AE	$81 \leq P_{0,1} \leq 129$	$129 < P_{0,02}$

A classe AE está reservada para situações em que as classes previstas na norma correspondem a um grau de exigência insuficiente. Considera-se razoável a exigência de uma qualificação da fachada específica para tais situações, uma vez que esta exigência só é feita em situações excecionais [79].

Assim, recomenda-se que as folhas fixas das fachadas leves sejam selecionadas de acordo com a tabela 23.

Tabela 23 - Seleção da classe de permeabilidade ao ar de folhas fixas de fachadas leves [79]

Cota	Fachadas abrigadas	Fachada não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
10	A1	A1	A2	A3	A1	A2	A3
15	A1	A1	A2	A3	A1	A2	A3
18	A1	A1	A2	A3	A1	A2	A3
28	A1	A2	A2	A3	A2	A3	A4
40		A2	A3	A3	A2	A3	A4
50		A2	A3	A4	A2	A3	A4
60		A2	A3	A4	A2	A3	A4
70		A2	A3	A4	A3	A4	AE
80		A2	A3	A4	A3	A4	AE
90		A3	A3	A4	A3	A4	AE
100		A3	A3	A4	A3	A4	AE

Depois do exposto, pode concluir-se que a permeabilidade ao ar é um fator de extrema importância no que toca ao conforto no interior do edifício. Por isso, durante a seleção das caixilharias, devem ser considerados dois aspetos: reduzir as perdas de calor e evitar correntes de ar frio. A classificação das folhas fixas das fachadas leves quanto à permeabilidade ao ar, deve ser feita segundo a norma EN 12152:2002 [80] e estas são ensaiadas conforme a norma EN 12153:2023 [81] (se forem de folha móvel deve ser seguida a EN 12207:2016 [82] para a classificação e ensaiadas segundo a norma EN 1026:2016 [83]). Deve-se proceder à seleção das folhas fixas consoante a cota a que vai estar, a região onde vão ser instalada, se a fachada vai ou não estar abrigada e a rugosidade aerodinâmica do local de implantação. Depois de definidos estes parâmetros, deve ser estabelecida a classe mínima a cumprir, segundo a tabela 23, sendo que não podem ser ultrapassados os limites superiores de qualquer pressão de ensaio estabelecidos para cada classe.

3.2.3.3. COMPORTAMENTO À ÁGUA

Estanquidade à água

No caso das folhas fixas das fachadas leves, devem ser submetidas a ensaio de estanquidade à água de acordo com a norma EN 12155:2000 [84] e os respetivos resultados classificados de acordo com a norma EN 12154:1999 [85]. Nesta norma estão previstas quatro classes de estanquidade à água regulares, designadas de R4 a R7, correspondendo a classe R7 às folhas fixas de fachadas leves de estanquidade à água a pressão mais elevada. Ainda está prevista uma classe de estanquidade à água excecional designada por Rxxxx, que se aplica a todas as folhas fixas de fachadas leves que revelem estanquidade à água para pressões superiores a 600 Pa, sendo o índice xxx o valor da pressão de ensaio (em patamares de 150 Pa) para a qual a folha ainda é estanque [79].

Considera-se que as consequências de qualquer eventual infiltração em fachadas leves com folhas fixas são muito mais gravosas do que esta ocorrer numa janela, uma vez que podem ocorrer frequentemente em zonas inacessíveis. Neste sentido procede-se a um agravamento da exigência de estanquidade à água feita para janelas e portas exteriores, considerando que as folhas fixas devem manter a sua estanquidade para pressões originadas pelo valor da distribuição de máximos da velocidade média do vento para intervalos de 10 minutos cuja probabilidade de ser excedido num ano é de 0,10 [79]. Considerou-se ser de excluir a utilização de classes correspondentes a um grau de exigência menor que o especificado para a classe R6. Note-se que esta classe é atribuída a uma fachada sujeita a um ensaio de estanquidade à água por patamares de pressão crescente até ao valor máximo de 450 Pa e com a duração total de 45 minutos, correspondendo já a um desagravamento do nível de exigência; todavia, dado verificar-se que a pressão é normalmente a grandeza física de maior importância no resultado final do ensaio, entendeu-se fazer corresponder este limite à classe com a pressão mais próxima de 500 Pa e não à imediatamente superior [79].

Para a classificação de folhas fixas de fachadas leves (as folhas móveis são consideradas janelas ou portas exteriores) relativamente à estanquidade à água, de acordo com a norma EN 12154:1999 [85], consideram-se os seguintes valores das pressões limite (em Pa), de acordo com os critérios acima referidos, descritos na tabela 24:

Tabela 24 - Valores das pressões limite (em Pa) para cada classe de estanquidade à água [79]

Classes	$P_{0,1}$
R6	$P_{0,1} \leq 450$
R7	$450 \leq P_{0,1} \leq 600$
RE ₇₅₀	$600 \leq P_{0,1} \leq 750$

Assim, recomenda-se que as folhas fixas das fachadas leves sejam selecionadas de acordo com tabela 25.

Tabela 25 - Seleção da classe de estanquidade à água de folhas fixas de fachadas leves [79]

Cota	Fachadas abrigadas	Fachada não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
10	R6	R6	R6	R6	R6	R6	R6
15	R6	R6	R6	R6	R6	R6	R6
18	R6	R6	R6	R6	R6	R6	R6
28	R6	R6	R6	R6	R6	R6	R7
40		R6	R6	R7	R6	R6	R7
50		R6	R6	R7	R6	R6	R7
60		R6	R6	R7	R6	R7	RE750
70		R6	R6	R7	R6	R7	RE750
80		R6	R6	R7	R6	R7	RE750
90		R6	R7	R7	R6	R7	RE750
100		R6	R7	R7	R6	R7	RE750

Segundo o apresentado, pode concluir-se que não se pode admitir fachadas leves com folhas fixas de classes de estanquidade à água inferiores a R6 (pressões inferiores a 450 Pa). A classificação das folhas fixas de fachadas leves quanto à estanquidade à água deve ser feita segundo a norma EN 12154:1999 [85] e estas são ensaiadas segundo a norma EN 12155:2000 [84]. No caso de folhas móveis, devem ser submetidas ao ensaio segundo a norma EN 1027:2016 [86] e os respetivos resultados classificados de acordo com a norma EN 12208:1999 [87]. As folhas fixas de fachadas leves devem ser escolhidas conforme a cota a que vão estar, a rugosidade aerodinâmica do local de implantação, a região onde vão ser instaladas e se a fachada vai ou não estar abrigada. Depois de definidos estes parâmetros, deve ser estabelecida a classe mínima que as folhas fixas devem cumprir.

3.2.3.4. COMPORTAMENTO TÉRMICO

Isolamento térmico

O efeito da temperatura ganha especial relevância no caso das fachadas, onde existe uma maior exposição solar no exterior face ao interior, sendo que o vidro exterior ao tentar expandir é limitado pelo vidro interior, provocando neste tensões de tração que, não sendo controladas, podem levar à rotura.

Quando um vidro se encontra numa superfície em contacto com duas zonas de diferentes temperaturas, ou seja, o interior de um edifício e o meio envolvente, ocorre fenómenos de transferência de calor da zona de maior temperatura para a menor [52]. Os mecanismos da transferência de energia térmica são por condução, convecção e radiação, que são expressas pelo coeficiente de transmissão térmica.

O coeficiente de transmissão térmica representa o fluxo de calor por m² de vidro, quanto menor este valor, melhor será o isolamento térmico. Contudo, o conforto térmico dependerá não só de um baixo coeficiente de transmissão térmica, U, mas também de um baixo fator solar. O fator solar representa a

percentagem da radiação total incidente que chega ao interior dos edifícios, composto pela radiação transmitida e pela radiação absorvida que é emitida para o interior (quanto mais baixo for o fator solar, menos importantes são os ganhos solares). O fator solar depende da posição do sol e das condições exteriores, tal como a intensidade de convecção natural favorecida pelo vento (aspectos fundamentais que vão ser aprofundados nos pontos seguintes).

A fachada envidraçada deve ser constituída por vidro isolante permitindo obter um melhor isolamento térmico. Consiste em encerrar entre dois vidros uma câmara de ar de forma a limitar as trocas térmicas por convecção e tirar proveito da baixa condutividade térmica do ar. Para melhorar o U, é necessário diminuir as transferências térmicas por condução, convecção e radiação. As transferências por radiação podem ser diminuídas utilizando vidro de capa de baixa emissividade [52].

Para atenuar o chamado “efeito de estufa”, recomenda-se o uso de vidros de controlo solar permitindo: limitar as despesas de energia ligadas à climatização, diminuir o desconforto causado pelo aumento de temperatura e melhorar o conforto visual evitando encadeamento. A proteção térmica no Verão será mais elevada quanto mais baixo for o fator solar e o coeficiente de transmissão térmica. A quantidade de energia solar que entra no local será limitada pela utilização de vidros com uma forte absorção energética ou uma forte reflexão energética relativamente ao exterior [52].

Os vidros orientados a sul beneficiam de uma exposição solar máxima no Inverno (sol baixo). Logo, essa orientação deve ser procurada para aumentar os ganhos térmicos durante a estação fria. No Verão, os vãos orientados a Sul podem ser protegidos com uma pala, estores, por exemplo [52]. Os locais orientados a Norte não beneficiam praticamente de sol. Os vidros orientados a Este ou a Oeste recebem no Verão a energia máxima, a Este na parte da manhã e a Oeste à tarde. Deve ser instalado algum tipo de proteção nos vãos, quando o sol está baixo, de forma a evitar o sobreaquecimento e o encadeamento [52].

Uma boa proteção combinada com uma ventilação natural apropriada, permite em inúmeros casos prescindir da climatização [52]. Os vidros de controlo solar permitem combater eficazmente o sobreaquecimento. A proteção solar deve ser, de preferência, colocada no exterior, antes do vidro (nas fachadas Sul e Oeste). Se o estore for colocado no interior, produzirá um efeito de estufa que pode conduzir a um sobreaquecimento considerável. Para ser eficaz no Verão, a proteção solar deve reter 80 a 85% da energia transportada pelos raios solares (fator solar compreendido entre 15 a 20%) [52].

Para evitar o sobreaquecimento deve-se: garantir a circulação do ar, utilizar estores certificando-se que os vidros não serão alvo de quebras térmicas, recorrer a vidros de transmissão energética limitada (“vidros de controlo solar”), deixam passar apenas uma determinada fração de radiação energética solar permitindo iluminar sem aquecer.

Os vidros cuja variação de temperatura entre duas zonas ultrapassa as variações críticas, definidas para o vidro sodo-cálcico recozido, sob o efeito da radiação ou da proximidade de um corpo quente, devem ser reforçados termicamente (vidro temperado, termoendurecido ou semi-temperado) [52].

Caso particular: se o vidro duplo de fachada tiver componentes desalinhados estes devem ser alvo de um estudo específico, isto é, se estiver montado em PVC, o vidro exterior deve sempre apresentar uma resistência elevada aos choques térmicos, se a distância do afastamento for 5 vezes superior à sua espessura [52]. O PVC tem uma baixa condutividade térmica. Por isso, os perfis em PVC não necessitam de rotura da ponte térmica, pois é o próprio perfil que rompe com a ponte térmica. A ponte térmica produz-se em perfis metálicos cuja alta condutividade os converte em maus isolantes.

Pré-certificado energético

Para efeitos da emissão de um pré-certificado energético (PCE), o edifício deve ser caracterizado de acordo com os pontos seguintes: objeto; fase do ciclo de vida (por exemplo, edifício novo, edifício sujeito a renovação edifício sujeito a grande renovação); tipologia de utilização e condição de acesso ao grande público.

De forma a diferenciar se é uma renovação ou uma grande renovação do edifício deve ter-se em conta a estimativa do custo total da obra, assinada pelo coordenador do projeto: é considerada renovação se a estimativa do custo total da obra for $\leq 0,25 \times V_e$ e é uma grande renovação se a estimativa do custo total da obra for $> 0,25 \times V_e$ [88].

Relativamente à tipologia de utilização, se for um edifício de habitação deve ser classificado como unifamiliar ou multifamiliar. Se for um edifício de comércio e serviços, deve ser classificado consoante a potência nominal global de climatização (pequeno edifício de comércio e serviços sem climatização, pequeno edifício de comércio e serviços com climatização ou Grande edifício de comércio e serviços).

Os edifícios detidos e ocupados por uma entidade pública e frequentemente visitados pelo público possuem obrigações distintas dos demais [88]. Um edifício frequentemente visitado pelo público é aquele que possui um serviço de atendimento ou acesso ao público distinto dos utilizadores regulares da atividade [88].

A documentação de suporte para a emissão do pré-certificado energético para edifícios novos é a seguinte: documentação de suporte à definição do objeto de certificação, projetos de arquitetura e das especialidades acompanhados pelo termo de responsabilidade do diretor de fiscalização ou do diretor técnico da obra (aquando da conclusão do edifício), estudo luminotécnico (aplicável a edifícios de comércio e serviços) e declarações de desempenho, fichas, documentação técnica ou outras evidências dos componentes (caso exista) [88]. Quanto à documentação de suporte para a emissão do pré-certificado energético para edifícios que vão sofrer uma grande renovação, para além da exigida para os edifícios novos, ainda é necessário: certificado energético anterior (caso exista), ficha técnica da habitação (caso exista) e registos de manutenção dos sistemas técnicos (caso exista) [88]. Quanto à documentação de suporte para a emissão do pré-certificado energético para edifícios que vão sofrer uma renovação, para além da exigida para os edifícios que vão sofrer uma grande renovação e para os edifícios novos, ainda é necessário: declaração do processo de certificação, telas finais dos projetos de arquitetura e das especialidades (caso exista), plano de manutenção (aplicável a GES, caso exista), relatórios de inspeção dos sistemas técnicos (aplicável a edifícios de comércio e serviços, nos termos do disposto no despacho previsto no n.º 4 do artigo 15.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro, caso exista) [88]. Se for necessário emitir um pré certificado para outro tipo de edifício, consultar o anexo do Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88].

A emissão do PCE de um edifício novo ou sujeito a renovação atesta a conformidade regulamentar dos requisitos vertidos no seu conteúdo. Desta forma, conforme disposto no n.º 4 do artigo 21.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro, antes da emissão do PCE deve garantir que os projetos de arquitetura e especialidades [88]:

- São coerentes entre si e as respetivas telas finais refletem a realidade construída;
- Cumprem com os requisitos que têm impacto nos indicadores de conforto e de desempenho energético, na qualidade do ar interior e na informação que consta no conteúdo do PCE.

Resumo dos principais indicadores que estão presentes no PCE:

- **Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}):** representam a quantidade de energia necessária, durante toda a estação de aquecimento, para manter a habitação, durante 24 horas, a uma temperatura de 18 °C [88]. Estas necessidades são determinadas contabilizando a transferência de calor pela envolvente, a transferência de calor por ventilação e os ganhos de calor úteis (provenientes dos ganhos solares pelos vãos envidraçados e dos ganhos devido às cargas internas no edifício).

O valor de N_{ic} é determinado com base na metodologia prevista na Norma EN ISO 13790:2008 [89], através da Equação 28, considerando:

$$N_{ic} = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})A_p \quad (28)$$

Onde:

N_{ic} – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/(m².ano)];

$Q_{tr,i}$ – Transferência de calor por transmissão através da envolvente do edifício na estação de aquecimento [kWh/ano];

$Q_{ve,i}$ – Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [kWh/ano];

$Q_{gu,i}$ – Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes [kWh/ano];

A_p – Área interior útil de pavimento [m²].

Nota: Todas as parcelas presentes na equação anterior devem ser consultadas no Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88].

- **Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}):** traduzem a quantidade de energia necessária, durante toda a estação de arrefecimento, para manter a habitação a uma temperatura de 25 °C durante 24 horas [88]. Estas necessidades são determinadas contabilizando a transferência de calor pela envolvente, a transferência de calor por ventilação e os ganhos térmicos, os últimos provenientes dos ganhos solares pelos vãos envidraçados e pela envolvente opaca e dos ganhos devido às cargas internas no edifício.

O valor de N_{vc} é determinado com base na metodologia prevista na Norma EN ISO 13790:2008 [89], através da equação 29:

$$N_{vc} = (1 - \eta_v) \cdot Q_{g,v}A_p \quad (29)$$

Onde:

N_{vc} – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/(m².ano)];

η_v – Fator de utilização de ganhos térmicos na estação de arrefecimento;

$Q_{g,v}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento [kWh/ano];

A_p – Área interior útil de pavimento [m²].

Nota: Todas as parcelas presentes na equação anterior devem ser consultadas no Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88].

- **Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS (Q_a):** são determinadas em função do consumo médio diário de referência, do aumento de temperatura, em relação à temperatura da água da rede, e do número de dias de consumo de AQS num ano, conforme equação seguinte [88].

$$Q_a = \frac{(M_{AQS} \cdot 4,187 \cdot \Delta T \cdot n_d)}{3600} \quad (30)$$

Onde:

Q_a – Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS [kWh/ano];

M_{AQS} – Consumo médio diário de referência [litros];

ΔT – Aumento de temperatura necessário para a preparação das AQS, assumindo o valor de fixo de 35 [°C];

n_d – Número anual de dias de consumo de AQS, assumindo o valor fixo de 365 [dias/ano].

Nota: Todas as parcelas presentes na equação anterior devem ser consultadas no Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88].

- **Consumo de energia elétrica do funcionamento do ventilador (W_{vm}):** é determinado de acordo com a equação seguinte, em edifícios de habitação com sistemas mecânicos de ventilação com funcionamento contínuo ou cujo funcionamento não dependa da ação do utilizador, quer seja de caudal variável ou constante [88]:

$$W_{vm} = \frac{V_f}{3600} \cdot \frac{\Delta P_{tot}}{\eta_{tot}} \cdot \frac{H_f}{1000} \quad (31)$$

Onde:

W_{vm} – Consumo de energia elétrica do funcionamento do ventilador [kWh/ano];

V_f – Caudal de ar médio diário escoado através do ventilador [m³/h];

ΔP_{tot} – Diferença de pressão total no ventilador [Pa];

η_{tot} – Eficiência da unidade de ventilação baseada na pressão total;

H_f – Número de horas anuais de funcionamento do ventilador [h/ano].

Nota: Todas as parcelas presentes na equação anterior devem ser consultadas no Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88].

Na ausência de informação sobre o horário de funcionamento dos sistemas mecânicos de ventilação, na determinação de H_f devem ser consideradas 8760 h.

Alternativamente à equação anterior, e quando desconhecidos os valores de ΔP_{tot} e η_{tot} , a determinação do consumo deve ser efetuada recorrendo à Equação 32 ou, no caso de um sistema misto de baixa pressão (inferior a 20 Pa), à Equação 33.

$$W_{vm} = 0,3 \cdot V_f \cdot \frac{H_f}{1000} \quad (32)$$

$$W_{vm} = 0,03 \cdot V_f \cdot \frac{H_f}{1000} \quad (33)$$

Em edifícios de habitação com sistemas mecânicos de ventilação cujo funcionamento depende da ação do utilizador ou na ausência de sistemas mecânicos de ventilação, W_{vm} assume o valor 0.

- **Energia destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício (E_{ren}):** Em sistemas solares térmicos centralizados que abranjam mais do que uma fração, a contribuição renovável do sistema a afetar a cada fração para aquecimento ambiente e preparação de AQS deve ter em consideração uma distribuição ponderada em função da permissão e da tipologia, respetivamente [88].

Na ausência de informação sobre o sistema solar térmico que permita a determinação do E_{ren} recorrendo ao programa referido, nas situações em que o sistema não se encontra sujeito à verificação de requisitos, este deve ser determinado conforme as equações seguintes.

$$E_{ren} = E_{solar_{ref}} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (34)$$

$$E_{solar_{ref}} = 0,44 \cdot A_c \cdot G_h \quad (35)$$

Onde:

E_{ren} – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício [kWh/ano];

$E_{solar_{ref}}$ – Valor de referência da contribuição anual de sistemas solares térmicos para AQS [kWh/ano];

f_1 – Fator de redução relativo ao posicionamento ótimo, conforme Tabela 82 do no Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88];

f_2 – Fator de redução relativo ao sombreamento, conforme Tabela 83 do no Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88];

f_3 – Fator de redução relativo à idade do equipamento, conforme Tabela 84 do no Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88];

A_c – Área total de captação dos coletores [m^2];

G_h – Radiação solar média anual recebida numa superfície horizontal, conforme Tabela 81 do no Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [kWh/(m^2 .ano)] [88].

Nota: Todas as parcelas presentes na equação anterior devem ser consultadas no Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88] e nas situações em que a energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo não provém sistemas solares térmicos, deve ser consultados os seguintes pontos do no Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88]: 16.1.5.2 (sistema solar fotovoltaico), 16.1.5.3 (energia produzida por um aerogerador), 16.1.5.4 (energia produzida por um sistema de queima de biomassa sólida), 16.1.5.5 (energia produzida por um sistema de aproveitamento de energia geotérmica), 16.1.5.6 (energia produzida por um sistema de produção de energia elétrica com base em mini-hídricas de açude) ou 16.1.5.7 (energia produzida por um sistemas do tipo bomba de calor, aerotérmica ou geotérmica).

- **Energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo nos usos não regulados do edifício ou exportada para a rede ($E_{ren,ext}$):** deve ser determinada, em função do tipo de sistema escolhido no ponto anterior (E_{ren}).
- **Necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc}):** representa o total de energia primária necessária para satisfazer anualmente as necessidades de aquecimento e arrefecimento ambiente e de preparação de AQS, bem como para o funcionamento dos sistemas de ventilação mecânica, subtraindo a este total a contribuição das fontes de energia renovável para estes usos, conforme Equação 36 [88]. Nesta equação, as necessidades de energia útil para os vários usos regulados são convertidas para consumos de energia final, afetando as mesmas da eficiência dos sistemas técnicos, e estes consumos convertidos para energia primária, através do fator de conversão (F_{pu}).

$$N_{tc} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \delta_{i \cdot F_{pu,j}} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \delta_{v \cdot F_{pu,j}} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_k} \right) F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} F_{pu,p} \quad (36)$$

Onde:

N_{tc} – Necessidades nominais anuais de energia primária [kWh_{EP}/(m².ano)];

N_{ic} – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/(m².ano)];

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k para a fonte de energia j ;

N_{vc} – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/(m².ano)];

$f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k para a fonte de energia j ;

Q_a – Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS [kWh/ano];

$f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema k para a fonte de energia j ;

η_k – Eficiência do sistema k para a fonte de energia j , que corresponde ao respetivo valor de E_{DEE} , assumindo o valor de 1 no caso de sistemas de cogeração ou trigeriação e de sistemas que recorram a fontes de energia renovável, com exceção de sistemas de queima a biomassa sólida. Na ausência de isolamento térmico na rede de distribuição de água quente para aquecimento ambiente ou para preparação de AQS que assegure uma resistência térmica de, pelo menos, $0,25 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$, a eficiência dos respetivos sistemas técnicos deve ser multiplicada por 0,9;

$W_{vm,j}$ – Consumo de energia elétrica j do funcionamento do ventilador [kWh/ano];

$E_{ren,p}$ – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício [kWh/ano];

A_p – Área interior útil de pavimento [m^2];

δ_i – Fator de anulação do consumo de energia para aquecimento, igual a 0 quando a relação N_{ic}/N_i é menor ou igual a 0,6 e o produto $g_{tot} \cdot F_o \cdot F_f$ é menor ou igual a 0,15 em todos os vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior, excluindo desta condição os situados no quadrante norte e aqueles em que a soma da sua área por espaço é igual ou inferior a 5% da área de pavimento desse mesmo espaço, tomando um valor igual a 1 nas restantes situações;

δ_v – Fator de anulação do consumo de energia para arrefecimento, igual a 1, exceto quando existem condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado, isto é, quando o fator de utilização de ganhos térmicos (η_v) é superior ao respetivo fator de referência (η_{vref}), assumindo nesta situação o valor 0;

$F_{pu,j}$ – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia j , incluindo renovável [$\text{kWh}_{EP}/\text{kWh}$];

$F_{pu,p}$ – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia renovável p [$\text{kWh}_{EP}/\text{kWh}$];

Nota: Todas as parcelas presentes na equação anterior devem ser consultadas no Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88] e os valores de referência de cada uma das grandezas também devem ser calculados com base nas equações presentes no Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88], de forma a comparar o valor teórico calculado com o valor de referência.

Nos edifícios de habitação, a classe energética é determinada em função do **rácio de classe energética (R_{Nt})**, que resulta da relação entre as necessidades nominais de energia primária previstas e de referência, conforme Equação 37. A classe energética é obtida pela correspondência entre o valor de R_{Nt} e os intervalos apresentados na Tabela 26.

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (37)$$

Onde:

R_{Nt} – Rácio de classe energética em edifícios de habitação;

N_{tc} – Necessidades nominais anuais de energia primária [$\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$];

N_t – Necessidades nominais anuais de energia primária de referência [$\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$].

As necessidades nominais anuais de energia primária de referência (N_t) representam a energia primária necessária total para satisfazer anualmente as necessidades de aquecimento e arrefecimento ambiente e de preparação de AQS do edifício de referência, admitindo a inexistência de consumos de energia associados ao funcionamento de sistemas de ventilação mecânica e de sistemas de aproveitamento de energias renováveis, conforme equação seguinte [88].

$$N_t = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_i}{\eta_{ref,k}} \right) F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_v}{\eta_{ref,k}} \right) F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_{aref}}{\eta_{ref,k}} \right) F_{pu,j} \quad (38)$$

Onde:

N_t – Necessidades nominais anuais de energia primária de referência [kWh_{EP}/(m².ano)];

N_i – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência [kWh/(m².ano)];

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k de referência para a fonte de energia j ;

N_v – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de referência [kWh/(m².ano)];

$f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k de referência para a fonte de energia j ;

Q_{aref} – Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS de referência [kWh/ano];

$f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema k de referência para a fonte de energia j ;

$\eta_{ref,k}$ – Eficiência de referência do sistema k , obtida através da Tabela 99 do Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88];

A_p – Área interior útil de pavimento [m²];

$F_{pu,j}$ – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia j , excluindo renovável [kWh_{EP}/kWh].

Nota: Todas as parcelas presentes na equação anterior devem ser consultadas no Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88].

Tabela 26 - Intervalos de valor de R_{Nt} para edifícios de habitação [88]

Classe energética	R_{Nt}
A ⁺	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,25 < R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,50 < R_{Nt} \leq 0,75$
B ⁻	$0,75 < R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,00 < R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,50 < R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,00 < R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} > 2,50$

Nos edifícios de comércio e serviços, a classe energética é determinada em função do rácio de classe energética (R_{IEE}), que resulta da relação entre os indicadores de eficiência energética do tipo S previsto, tendo em conta o contributo de fontes de energia renovável, e de referência, conforme Equação 39. A classe energética é obtida pela correspondência entre o valor de R_{IEE} e os intervalos apresentados na Tabela 27.

$$R_{IEE} = \frac{IEE_{pr,S} - IEE_{pr,ren}}{IEE_{ref,S}} \quad (39)$$

Em que:

R_{IEE} – Rácio de classe energética em edifícios de comércio e serviços;

$IEE_{pr,S}$ – Indicador de eficiência energética previsto do tipo S [kWh_{EP}/(m².ano)];

$IEE_{pr,ren}$ – Indicador de eficiência energética previsto renovável [kWh_{EP}/(m².ano)];

$IEE_{ref,S}$ – Indicador de eficiência energética de referência do tipo S [kWh_{EP}/(m².ano)]

Nota: Todas as parcelas presentes na equação anterior devem ser consultadas no Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88].

Tabela 27 - Intervalos de valor de R_{Nt} para edifícios de comércio e serviços [88]

Classe energética	R_{Nt}
A ⁺	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,25 < R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,50 < R_{Nt} \leq 0,75$
B ⁻	$0,75 < R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,00 < R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,50 < R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,00 < R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} > 2,50$

Avaliação do desempenho energético dos edifícios (DEE), principalmente, de fachadas – dados climáticos

De forma a avaliar o desempenho energético dos edifícios (DEE), deve ter-se em conta, a **envolvência do edifício**, bem como a **localização, entorno e clima**.

Relativamente à localização os parâmetros geográficos a considerar são: coordenadas cartesianas, altitude e morada postal. Para o parâmetro entorno, devem ser definidos: região do território (região A - todo o território Nacional, exceto os locais pertencentes à região B; e região B- Região Autónoma da Madeira, Região Autónoma dos Açores e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e ou com altitude superior a 600 m.), a rugosidade e a classe de proteção da fachada [88]. Tendo em conta que a rugosidade aerodinâmica do solo condiciona o perfil de velocidade do vento para as alturas acima do solo relevante para este estudo, consideram-se três tipos de rugosidade:

- Tipo I – locais situados no interior de zonas urbanas em que predominem os edifícios de médio e grande porte;
- Tipo II – generalidade dos restantes locais, nomeadamente as zonas rurais com algum relevo e periferia de zonas rurais;
- Tipo III – locais situados em zonas planas ou nas proximidades de extensos planos de água nas zonas rurais.

Deve ainda ter-se em consideração uma eventual proteção oferecida por outras construções contra o vento. Assim, distinguem-se os casos de: fachada abrigada e fachada não abrigada. Considera-se fachada abrigada, ou parte desta, quando se encontra frente a uma linha contínua de construções e reúne uma das seguintes características [88], definidas nas Fig. 17 e Fig.18:

- Para uma linha de construções situada a uma distância máxima de 15m, a parte considerada da fachada não excede a altura dessas construções.

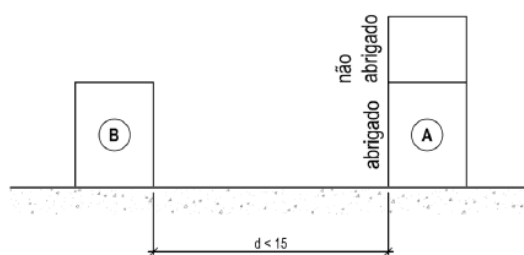


Fig. 17 - Proteção contra o vento em edifícios a menos de 15m [88]

- Para uma linha de construções situada a uma distância entre 15m e 30m, a parte considerada da fachada não excede a altura dessas construções deduzida de 1/3 do excesso além de 15m da distância entre edifício

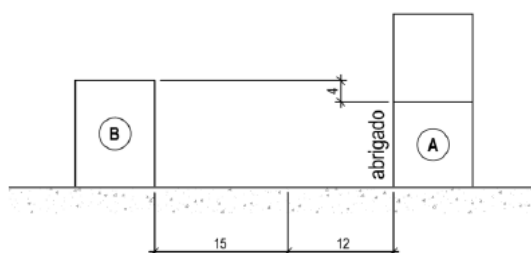


Fig. 18 - Proteção contra o vento em edifícios entre 15m e 30m de distância [88]

A avaliação do DEE varia em função do clima e das respectivas variáveis que o influenciam, ou seja, deve ser definida a respetiva nomenclatura das unidades territoriais para fins estatísticos (NUTS) de nível III, em função do concelho onde o edifício se localiza.

O edifício deve ser caracterizado em função da sua zona climática de inverno e verão, encontrando-se definidos três tipos para cada estação (I1, I2 e I3, para o inverno, e V1, V2 e V3, para o verão). As zonas climáticas são necessárias na verificação do cumprimento dos requisitos de qualidade térmica da envolvente e, no caso dos edifícios de habitação, dos indicadores de conforto térmico [88].

A zona climática de inverno é definida a partir do número de graus-dias (GD) na estação de aquecimento, na base de 18 °C, tabela 28, enquanto a de verão é definida a partir da temperatura média exterior na estação convencional de arrefecimento ($\theta_{ext,v}$), tabela 29.

Tabela 28 - Zona climática de inverno [88]

Critério	$GD \leq 1300 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$1300 \text{ }^{\circ}\text{C} < GD \leq 1800 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$GD > 1800 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Zona climática Inverno	I1	I2	I3

Tabela 29 - Zona climática de verão [88]

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20\text{ °C}$	$20\text{ °C} < \theta_{ext,v} \leq 22\text{ °C}$	$\theta_{ext,v} > 22\text{ °C}$
Zona climática Verão	V1	V2	V3

Os parâmetros climáticos para a cota de referência da respetiva NUTS III, necessários à avaliação do DEE na estação de aquecimento e os parâmetros climáticos necessários na estação de arrefecimento devem ser consultados nas tabelas 9 e 10 do Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88].

A aplicação da metodologia para a avaliação do DEE deve ter em conta a caracterização do edifício no que respeita à sua utilização, às condições fronteira e ao levantamento dimensional.

O edifício deve ser caracterizado em função das suas tipologias, habitação ou comércio e serviços, edifícios de habitação podem ser unifamiliares ou multifamiliares, já os edifícios de comércio e serviços podem ser alojamentos locais, bares, armazéns, bibliotecas etc (mais tipologias na tabela 12 do Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88]). Deve ser estabelecida como tipologia principal aquela que possui maior área interior útil de pavimento [88].

Relativamente às fachadas, sistema que vai ser estudado com mais pormenor, para efeitos da avaliação do DEE, a sua caracterização deve ser efetuada mediante os seguintes parâmetros:

a) Coeficiente de transmissão térmica (U):

O coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados caracteriza a transferência de calor que ocorre entre os ambientes ou meios que estes separam. Uma forma de diminuir o valor do U é utilizar vidros duplos, cuja câmara-de-ar limita as trocas térmicas por condução e convecção, tirando proveito da baixa condutividade térmica de um gás que substitui o ar (os gases mais usados são os ditos monoatômicos, como o árgon, o krípton e o xénon, uma vez que transmitem menos calor do que os gases ditos poliatômicos) [52]. Por isso, nas fachadas devem ser instalados vidros isolantes. O seu valor deve ser determinado de acordo com as normas europeias em vigor, NP EN 637:2000 [90]. Alternativamente, podem ser utilizados métodos de ensaio normalizados previstos nas normas de produto. Os valores necessários à determinação do coeficiente de transmissão térmica podem ser fornecidos pelos fabricantes, desde que determinados através de cálculos ou ensaios laboratoriais, conforme previsto nas Normas NP EN 14351-1:2006+A2:2019 [91] e NP EN 14351-2:2018 [92].

Na ausência de melhor informação devem ser utilizados os valores de coeficiente de transmissão térmica constantes no Anexo III do ITE50 [93].

Segundo a norma NP EN 637:2000 [90], o coeficiente U é dado por:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_t} + \frac{1}{h_i} \quad (40)$$

Onde:

h_e e h_i são os coeficientes superficiais exterior e interior de transmissão de calor

h_t é a condutância térmica total do envidraçado

$$\frac{1}{h_t} = \sum_1^N \frac{1}{h_s} + \sum_1^N d_j r_j \quad (41)$$

Onde:

h_s - condutância térmica de cada camada de gás

N - número de espaços

d_j - espessura de cada camada de material

r_j - resistividade térmica de cada material

M - número de camadas de material

Nota: Todas as parcelas presentes na equação anterior devem ser consultadas na norma NP EN 637:2000 [90].

$$h_i = h_r + h_c \quad (42)$$

Onde:

h_r é a condutância por radiação

h_c é a condutância por convecção

Nota: Todas as parcelas presentes na equação anterior devem ser consultadas na norma NP EN 637:2000 [90].

O coeficiente exterior de transmissão de calor h_e é função da velocidade do vento junto ao envidraçado, da emissividade e de outros fatores climáticos.

Para superfícies envidraçadas verticais comuns o valor de h_e está normalizado em 23 W/(m².K), para efeitos de comparação de coeficientes U de envidraçados.

b) Fração envidraçada:

A avaliação do DEE deve ser efetuada tendo em conta a fração envidraçada dos vãos, correspondendo à relação entre a área transparente e a área total do vão envidraçado [88]. Alternativamente, de forma simplificada, podem assumir-se os valores previstos na tabela 30.

Tabela 30 - Fração envidraçada [88]

Caixilharia	<i>Fg</i>	
	Sem quadrícula	Com quadrícula
Sem caixilho	1,00	
Metal (Alumínio e aço)	0,70	0,6
PVC e madeira	0,65	0,57
Fachada-cortina de alumínio ou aço	0,9	

c) Fator solar da área transparente para uma incidência da radiação perpendicular ao vão envidraçado ($g_{\perp,vi}$):

O fator solar de um envidraçado é quantificado pela fração da radiação solar incidente que é transmitida de forma direta ou indireta para o interior [88].

O fator solar da área transparente para uma incidência da radiação perpendicular ao vão envidraçado ($g_{\perp,vi}$), deve ser obtido nos termos do previsto na Norma EN 410:2011 [94].

Na ausência de informação, os valores referentes ao fator solar das áreas transparentes devem ser consultados na tabela 51 do Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88].

d) Fator de obstrução solar (F_s):

O fator de obstrução solar (F_s), representa a redução da radiação solar incidente nos vãos envidraçados devido ao sombreamento causado por diferentes obstáculos, nomeadamente [88]:

- Obstruções exteriores ao edifício, tais como outros edifícios ou orografia;
- Obstruções criadas por elementos do edifício, tais como outros corpos, palas, varandas e elementos de enquadramento do vão, externos à caixilharia.

O valor de F_s é obtido pelo produto de três fatores de sombreamento, nos termos da equação seguinte.

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f \quad (43)$$

Onde:

F_s – Fator de obstrução solar;

F_h – Fator de sombreamento do horizonte, devido a elementos opacos exteriores ao edifício ou do mesmo;

F_o – Fator de sombreamento de elementos opacos horizontais, designadamente, palas e varandas, sobrejacentes ao vão envidraçado;

F_f – Fator de sombreamento de elementos opacos verticais, designadamente, palas e outros corpos ou partes de um edifício, adjacentes ao vão envidraçado.

Para efeitos da contabilização dos sombreamentos provocados pelo contorno do vão envidraçado, quando este não se encontre à face do elemento opaco, e na ausência de outros elementos de sombreamento horizontais ou verticais, o produto $F_o \cdot F_f$ não pode ser superior a 0,90, assumindo este valor quando o referido limite seja ultrapassado [88]. Nestas situações, pode ser dispensada a determinação de F_o e F_f , mediante a consideração de um valor igual a 0,90 para o seu produto [88].

A determinação de F_s deve ser efetuada através da Equação 43, desde que o produto $X_j \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f$ seja igual ou superior a 0,27. Caso contrário, deve F_s ser determinado recorrendo à equação seguinte:

$$F_s = \frac{0,27}{X_j} \quad (44)$$

Onde:

X_j – Fator de orientação, obtido através da tabela 31.

Tabela 31 - Fator de orientação [88]

Orientação do vão j	N	NE/NO	S	SE/SO	E/O	H
X_j	0,27	0,33	1	0,84	0,56	0,89

Nota: Todas as parcelas presentes na equação anterior devem ser consultadas no Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88].

- e) A duração da estação de arrefecimento (L_v): toma um valor fixo de 4 meses (junho, julho, agosto e setembro), correspondendo a um total de 2928 horas.
- f) Duração da estação de aquecimento (M) consultar a tabela 9 do Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88] depende da região onde está implantado o edifício.

Depois de explicados os principais indicadores e dados climáticos para a avaliação do DEE, estes devem ser consultados no PCE do edifício em questão (tal como apresentado na tabela 32) e devem ser comparados com os valores de referência estabelecidos no ponto 16.2 do Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88].

Tabela 32 - Principais indicadores para a avaliação do DEE

Principais indicadores	Dados climáticos
N_{ic}	Altitude
N_{vc}	Graus-dia
Q_a	Temperatura média exterior
W_{vm}	Zona climática de Inverno
E_{ren}	Zona climática de Verão
$E_{ren,ext}$	Duração da estação de aquecimento
N_{tc}	Duração da estação de arrefecimento

3.2.3.5. SEGURANÇA

Resistência ao impacto e comportamento pós quebra

Vai ser feita uma breve referência ao comportamento pós quebra que o vidro instalado numa fachada cortina deve ter.

Sendo que, é essencial considerar também o comportamento pós quebra dos painéis envidraçados, devem ser instalados vidros laminados no interior, de forma a, preservar a segurança dos utilizadores. São as películas do filme intercalar que evitam os danos e ferimentos nos utentes, pois garantem a fixação dos fragmentos estilhaçados. Mesmo após o impacto e a quebra, é possível conseguir painéis de vidro laminado que se mantêm “coesos” de modo a poderem conferir alguma resistência ao vento e à entrada de água da chuva [72]. Do lado exterior, podem ser instalados vidros laminados, monolíticos ou temperados mas, em termos térmicos, é mais vantajoso a instalação de vidros temperados.

Nas fachadas VEA, os componentes em vidro devem ser escolhidos em função das regras relativas à segurança dos utilizadores e das especificidades particulares do VEA [52]:

- Limitação do risco de lesões de pessoas por queda de fragmentos importantes em caso de quebra do vidro;
- Segurança relativamente à queda de pessoas;
- Segurança em caso de incêndio;
- Segurança dos utilizadores e dos intervenientes durante as operações de conservação e manutenção;
- Segurança em caso de sismo.

Para os vidros duplos especialmente concebidos para a colocação em VEC, o produto deve considerar [52]:

- os efeitos de eventuais choques
- o efeito de um incêndio
- o efeito dos sismos
- a ação da temperatura
- etc

O vidro é considerado como resistente aos choques se não tiver sido arrastado ou atravessado, a sua fissuração é admitida.

Segurança ao fogo

Vai ser feita uma breve referência à segurança ao fogo, em especial no caso das fachadas cortina. O número de sinistros que envolve a propagação de incêndios através das fachadas é bastante elevado, logo deve dar-se particular atenção ao risco significativo quanto à segurança dos utentes, pelo que têm de ser adotadas medidas adequadas de proteção e mitigação dos mesmos, especialmente nos edifícios de grande altura [88].

Existem vários modelos de vidros corta-fogo, o seu desempenho dependente de fatores, como o tipo de caixilharia e o tipo de vidro a ser utilizado, a caixilharia deve responder com o mesmo nível de comportamento e de desempenho.

O vidro temperado pode apresentar resistência ao fogo de mais de uma hora [88]. No entanto, caso não se trate de vidro simples, pode tornar-se muito quente e ser suscetível de causar ignição no lado oposto ao do fogo, revelando-se assim inadequado nos casos em que confine trajetórias de fuga.

Os vidros mais adequados para a resistência ao fogo são compostos por mais de uma chapa em que o espaço entre estas é preenchido com um gel polímero, além de impedir que a deformação pelo diferencial térmico seja elevada, proporciona isolamento térmico adequado. Este gel contém uma percentagem de água e sais inorgânicos elevada que, no caso de incêndio, cristaliza formando uma camada isolante em que o calor latente da evaporação da água absorve muita da energia calorífica [88]. Se a chapa do lado do fogo partir, a camada cristalizada é suficientemente resistente para manter a integridade do painel sem que a temperatura na chapa do lado oposto aumente.

A utilização de dispositivos corta-fogo selando a passagem do ar e das chamas entre pisos consecutivos ao longo do perímetro das lajes é essencial para retardar a passagem das chamas e dos gases de combustão entre pisos. Estes dispositivos têm de ser obrigatoriamente utilizados nas fachadas cortina e são considerados como continuação ou extensão das lajes devendo assegurar a mesma capacidade de corta-fogo que estas últimas [88].

Também é exigido que os perfis verticais que encontram apoio nas lajes estejam providos de tratamento ignífugo na zona dos tetos por forma a garantir que estes mantenham a sua integridade sem que o material estre em fusão provocando o seu colapso, garantindo assim que as chamas se propaguem no sentido ascendente durante o tempo da resistência necessário [88].

A utilização de *sprinklers* aspersores tem sido eficaz na proteção das fachadas envidraçadas uma vez que, em caso de estilhaçamento dos envidraçados, a ascensão das chamas é muito rápida.

Durante um incêndio, as temperaturas atingem facilmente os 1000°C, enquanto o alumínio funde a cerca de 600°C, temperaturas estas que são atingidas em poucos minutos. O material que nestas situações se tem mostrado mais adequado é o aço inoxidável austenítico que apresenta ainda resistência considerável aos 800°C e cuja fusão se verifica acima dos 1400°C [88].

Depois do apresentado, conclui-se que, ao optar por vidros corta fogo, o seu desempenho não só depende do tipo de caixilharia como do tipo de vidro a ser usado. Os painéis mais adequados para resistirem ao fogo devem ser isolantes com mais de duas chapas e o intercalar a separá-las deve ser de um gel polímero (com elevada percentagem de água e sais inorgânicos). Devem também ser usados dispositivos corta fogo (*sprinklers*) nas fachadas cortina e os perfis verticais que encontram apoio nas lajes devem passar por um tratamento ignífugo. O material que se tem mostrado mais adequado em caso de incêndio tem sido o aço inoxidável austenítico, que apresenta ainda uma resistência considerável aos 800°C e cuja fusão se verifica acima dos 1400°C. O vidro temperado não pode ser utilizado em locais de fuga em caso de incêndio.

3.2.3.6. ACÚSTICA

Vai ser feita uma breve referência ao comportamento acústico do vidro instalado numa fachada cortina. O desempenho acústico dos envidraçados não pode ser analisado sem serem considerados os elementos de suporte, caixilharia e vedantes, pois têm um papel determinante para o desempenho global dos painéis [52]. Não é possível extrapolar as características da fachada apenas a partir da performance do vidro. É certo que, os índices de redução sonora são maiores quando se utilizam painéis de envidraçados duplos ou triplos.

Aumentando a espessura do vidro, a perda de performance resultante da frequência crítica desloca-se para as baixas frequências. O tratamento acústico das fachadas, alvo de inúmeros ruídos de forte intensidade em baixas frequências é difícil. O vidro sujeito ao nível do isolamento acústico, sofre uma perda de performance de 10 a 15 dB [52].

É fundamental que uma das chapas seja em vidro laminado e que as espessuras das chapas do painel isolante sejam suficientemente diferentes para que os valores das frequências de vibração das chapas também o sejam [52]. De facto, um vidro laminado apresenta maior isolamento para sons de baixa frequência (50 Hz a 200Hz) e um painel com envidraçado duplo, por exemplo, apresenta maiores índices de isolamento acústico para frequências cerca de dez vezes superiores a estas [52].

A maioria dos fabricantes desenvolveu filmes intercalares de elevado desempenho, denominados S-Lec Acoustic Film (SAF). Estes intercalares apresentam coeficientes de amortecimento superiores aos do PVB, especialmente quando se comparam os índices de isolamento a temperaturas extremas, muito elevadas ou muito baixas. O SAF é um intercalar muito utilizado em aerogares, em edifícios próximos de aeroportos, hotéis, recintos desportivos, espaços de trabalho em estações de comboio e escolas, entre outros, em que são exigidos índices de isolamento elevados [72].

O isolamento acústico de uma fachada é a capacidade que esta tem de resistir às fontes de ruído provenientes do exterior. O parâmetro que o caracteriza é o "R", medido em decibéis (dB), que depende

não só do perfil da fachada, mas também da espessura e do tipo de vidro e da permeabilidade ao ar da fachada. O índice de atenuação acústica (R) é medido em laboratório. Este índice, medido de acordo com a norma ISO 140-3:1995 [95] representa as características de um elemento para cada banda de 1/3 de oitava centrada entre os valores 100 e 3150 Hz (16 valores) [52]. As medidas podem ser feitas facultativamente por frequências de 50 a 100 Hz e de 3150 a 5000 Hz. Os valores corretamente utilizados são os valores globais definidos pela ISO 717-1:2020 [96], para uma curva de referência e adaptada a dois espectros de um dado ruído [52].

Depois do exposto, é possível concluir que, o desempenho acústico dos envidraçados não pode ser analisado sem serem considerados os elementos de suporte, caixilharia e vedantes. É fundamental usar vidro laminado isolante e que as espessuras das chapas do painel seja, suficientemente diferentes, para que os valores das frequências de vibração também o sejam. O intercalar usado nos vidros laminados, de forma a, ser possível atingir coeficientes de amortecimento superiores aos do PVB é o SAF. Os valores ensaiados do índice de atenuação acústica devem ser obtidos segundo a norma ISO 140-3:1995 [95] e devem ser comparados com os valores de referência apresentados de seguida na tabela 33, segundo a ISO 717-1:2020 [96].

Tabela 33 - Valores de referência para sons de condução aérea [96]

Banda de frequências	Valores de referência	
	dB	
Hz	Bandas de terços de oitava	Bandas de oitava
100	33	36
125	36	
160	39	
200	42	45
250	45	
315	48	
400	51	52
500	52	
630	53	
800	54	55
1000	55	
1250	56	
1600	56	56
2000	56	
2500	56	
3150	56	

3.2.3.7. ENSAIOS E MARCAÇÃO CE DOS SISTEMAS DE FACHADA

A Marcação CE é uma certificação de conformidade, que comprova que os produtos comercializados na União Europeia foram avaliados pelo fabricante e respeitam os requisitos essenciais de segurança, saúde e proteção do ambiente imposto. A Marcação CE é da responsabilidade do fabricante, ou dos seus representantes autorizados estabelecidos no Espaço Económico Europeu (EEE), e deve ser aposta na sequência da aplicação dos mecanismos descritos no Regulamento dos Produtos da Construção (RPC) [97]. O fabricante deverá deter um Manual de Produto que assegura a validade da Marcação CE com os seguintes documentos: relatórios dos ensaios de tipo iniciais (ETI) (ensaios de desempenho e de identificação) elaborados pelo(s) organismo(s) notificado(s), documentação referente a existência de um sistema de controlo interno de produção (CIP), declaração de desempenho e etiqueta da Marcação CE [97].

Os Ensaios de Tipo Iniciais realizam-se uma vez e são válidos enquanto os sistemas não sofram alterações na sua conceção e/ou na sua produção. Os resultados dos ensaios para produtos com melhores desempenhos técnico-funcionais que os do Ensaio de Tipo Inicial podem ser definidos a partir deste ensaio, não sendo necessário realizar ensaios para todos os tipos/dimensões de fachadas [97]. Estes Ensaios de Tipo Iniciais são tarefas que devem ser desenvolvidas pelos Organismos Notificados (LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Itecons Coimbra, ou outros desde que devidamente acreditados).

O Controlo Interno da Produção (CIP) é da responsabilidade do fabricante, funciona com procedimentos documentados, inspeções e ensaios regulares e/ou valorizações, e com a utilização destes resultados no controlo da equipa, matérias-primas e outros materiais ou componentes que entram no processo de produção e no produto [97]. O fabricante deverá ainda preparar e manter documentação que contenha informação sobre todos os processos elaborados. Um sistema que respeite a norma EN ISO 9001:2000 [98], adaptada especificamente para o tipo de produto em causa, satisfaz o prescrito para o CIP.

A Declaração de Conformidade (no âmbito do Regulamento dos Produtos da Construção (Regulamento UE n.º 305/2011), denominada de Declaração de Desempenho), é o documento que atesta que o produto satisfaz os requisitos essenciais da legislação aplicável e deve ser emitida previamente à colocação do produto no mercado. Ao elaborar e assinar a Declaração de Conformidade, o fabricante (ou o seu representante na UE), assume a responsabilidade pela conformidade do produto [97]. Na declaração de desempenho são apresentados os resultados aos ensaios pelos quais o produto passou. Na tabela 34 estão resumidos alguns aspetos que são ensaiados e respetiva norma.

Tabela 34 - Resumo das normas correspondentes a cada aspeto

Aspeto ensaiado	Norma
Resistência ao impacto	EN 14019:2016 [99] e EN 12600:2002 [43]
Resistência ao fogo	EN 1364 -1, 3 e 4 [100] [101] [102]
Resistência ao vento	EN 12179:2000 [75] e EN 13116:2024 [76]
Estanquidade à água	EN 12155:2000 [84] e EN 12154:1999 [85]
Permeabilidade ao ar	EN 12153:2023 [81] e EN 12152:2002 [80]
Coeficiente de transmissão térmica de fachadas cortina (U_{cw})	EN 13947:2006 [103]
Fator solar do vidro (g)	EN 410:2011 [94]
Desempenho acústico	Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei nº96/2008, de 9 de junho)
Índice de atenuação acústica	ISO 140-3:1995 [95] e ISO 717-1:2020 [96]

A Marcação CE deve ser colocada de forma visível, facilmente legível, nas fachadas, fixada numa etiqueta, na respetiva embalagem ou nos documentos comerciais de acompanhamento. Deve conter a seguinte informação [97]:

- Nome e morada ou marca comercial registada do fabricante;
- Dois últimos dígitos do ano em que se obteve a Marcação CE de conformidade;
- Referência à norma portuguesa NP EN 13830:2015+A1:2021 [44];
- Descrição do produto (nome genérico, material, dimensões e uso previsto);
- Informação sobre as características obrigatórias.

4

CONCLUSÕES

4.1. CONCLUSÕES FINAIS

Com o desenvolvimento desta dissertação, procurou-se tentar dar resposta às dificuldades sentidas por parte dos técnicos do setor e tentar colmatar as lacunas que existem no mercado da especialidade do vidro em Portugal.

A criação do guia interpretativo para os três sistemas diferentes teve como principal objetivo construir um documento onde fossem incorporados os aspetos mais importantes a considerar no dimensionamento dos diferentes sistemas, para que, quando os técnicos do setor recebam um caderno de encargos ou um pedido de solicitação, não se sintam “perdidos” no que devem ou não considerar. Achou-se que faria mais sentido elaborar um guia que pudesse ser consultado por todo o tipo de pessoas, ou seja, tanto poder ser consultado por pessoas com qualificações na área do vidro como também poder ser consultado, por exemplo, por um cliente que não tem grandes competências ao nível do vidro, mas tem ideias que gostava de ver concretizadas.

Inicialmente, com recurso a entrevistas feitas a técnicos de algumas empresas do setor e a uma advogada tentou-se perceber em que estado estava o mercado do vidro em Portugal, como este se organizava e como funciona perante más prescrições de vidro. Depois de se tirar algumas conclusões sobre a indústria vidreira, optou-se por entender melhor o material, vidro, e suas estruturas portantes consultando uma vasta bibliografia para que fosse possível tentar mitigar algumas características do material, admitidas pela sociedade. Também foram analisados variadíssimos documentos, normas e livros relativos aos três tipos de sistemas abordados (guardas, pisos e fachadas), com o objetivo de os caracterizar. Para tal, as orientações e recomendações relativamente ao vidro, sistemas e estruturas portantes enunciadas nesta dissertação são suportadas pela normalização em vigor e pela experiência.

Na elaboração dos guias interpretativos foram considerados os aspetos fundamentais para o dimensionamento dos sistemas tendo como base a pesquisa feita e as entrevistas aos técnicos. As dificuldades apresentadas pelos mesmos durante a receção ou a elaboração dos pedidos de cotação/caderno de encargos foram consideradas essenciais na criação do melhor guia possível. A falta de

documentos normativos portugueses ou qualquer tipo de documento que orientasse para o dimensionamento destes sistemas foi notória ao longo do processo de desenvolvimento dos três guias.

Espera-se que estas matrizes de pensamento ajudem a melhorar a organização do mercado vidreiro em Portugal, ou seja, possam ser consultadas no início do projeto pelo projetista e/ou arquiteto e possam ser utilizadas pelo instalador vidreiro na fase final do projeto. Uma má prescrição de vidro pode levar a acidentes ou a danos no utilizador, que se podem tentar evitar considerando todos os aspetos relevantes inseridos nos guias interpretativos criados na altura do seu dimensionamento.

4.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

No seguimento desta dissertação, e para um aprofundamento do conhecimento sobre os sistemas usados na indústria do vidro, propõem-se como desenvolvimentos futuros:

- A realização de guias interpretativos para os restantes sistemas de fachadas nomeadamente com outros tipos de ligações;
- Incluir outros tipos de guardas no guia interpretativo das mesmas;
- Testar em casos de estudo a real utilidade, possíveis limitações e necessários ajustes, dos guias aqui desenvolvido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Pereira, *Estudo do comportamento estrutural de fachadas em vidro*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2012.
- [2] C. Pina, "Os Eurocódigos Estruturais: Estado da sua implementação em Portugal," presented at the Seminário "Comportamento ao fogo de estruturas mistas aço-betão: nova metodologia de cálculo" Os Eurocódigos Estruturais: Estado da sua implementação em Portugal, 2012.
- [3] *Lei n.º 40/2015*. 2015.
- [4] *Lei n.º 41/2015*. 2015.
- [5] P. C. Louter, *Fragile yet ductile: Structural aspects of reinforced glass beams*. Universidade de delft, the Netherlands, 2011.
- [6] M. A. S. A. Gonçalves, *Análise comparativa de intercalares para vidro estrutural: SGP| PVB. Ações de curta e longa duração*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2019.
- [7] V. M. G. Garanito, *O vidro na indústria da construção*. Dissertação de Mestrado, Universidade da Madeira, 2018.
- [8] A. Pinto, *ITE 52 - Componentes de edifícios - Aspectos de segurança e resistência mecânica do vidro*. Lisboa, 2008.
- [9] <https://www.centralprojectos.pt/conteudos/blog/show.aspx?idcont=784&title=o-vidro-como-material-estrutural&idioma=pt>. (22/3/2024).
- [10] F. M. B. Quintas, *Vitral: contemporaneidade e sedução do poder*. Universidade de Lisboa (Portugal), 2014.
- [11] A. F. C. Ruivo, *Synthesis and characterization of innovative luminescent glasses for artistic applications*. Universidade NOVA de Lisboa (Portugal), 2013.
- [12] E. C. f. Standardization, *EN 572-1:2012+A1:2016*. Brussels, 2016.
- [13] B. F. dos Santos Marinho, *Caracterização Experimental do Vidro Laminado Como Material Estrutural: Avaliação da Influência dos Elementos Intercalares e da Temperatura*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 2012.
- [14] M. Haldimann, A. Luible, and M. Overend, *Structural use of glass*. labse, 2008.
- [15] <https://allaboutthatglass.wordpress.com/category/fabricacao-do-vidro-float/>. (22/3/2024).
- [16] C. S. M. P. COSTA, *CONTROLO DA QUALIDADE DE FACHADAS EM VIDRO: Fachadas-Cortina e Fachadas em Vidro Exterior Agrafado*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2018.
- [17] IPQ, *NP EN 12150-2:2010*. Portugal, 2010.
- [18] IPQ, *NP EN 14179-2:2008*. Portugal, 2008.
- [19] IPQ, *NP EN 13024-2:2010*. Portugal, 2010.
- [20] IPQ, *NP EN 14321-2:2008*. Portugal, 2008.
- [21] J. T. M. Sousa, *Vidro estrutural em condições extremas: aplicações em ambiente submerso*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 2014.
- [22] IPQ, *NP EN 14179-1:2020*. Portugal, 2020.
- [23] IPQ, *NP EN 1863-2:2010*. Portugal, 2010.
- [24] IPQ, *NP EN 12337-2:2010*. Portugal, 2010.
- [25] IPQ, *NP EN 14449:2008*. Portugal, 2008.
- [26] E. C. f. Standardization, *ISO 12543-1:2021*. Brussels, 2021.
- [27] Dupont, "Sentry Glass Plus - ARCHITECTURAL SAFETY GLASS INTERLAYER," Accessed on: 24/03/2024, Available: <https://faglass.com/alliances-pdf/SentryGlas2.pdf>
- [28] <https://seveclusivv.com.br/tag/vidro-temperado/>. (24/3/2024).
- [29] <https://szdragonglass.com/pt-br/china-ce-certificado-bulletproof-preco-de-vidro/>. (24/3/2024).
- [30] IPQ, *NP EN 1279-5:2005+A2:2013*. Portugal, 2013.
- [31] LNEC, "Mandato 135 ", Accessed on: 23/4/2024
- [32] IPQ, *NP EN 572-8:2012+A1:2020*. Portugal, 2020.
- [33] IPQ, *NP EN 572-3:2022*. Portugal, 2022.
- [34] IPQ, *NP EN 572-4:2022*. Portugal, 2022.
- [35] IPQ, *NP EN 572-5:2022*. Portugal, 2022.
- [36] IPQ, *NP EN 572-6:2022*. Portugal, 2022.
- [37] IPQ, *NP EN 572-7:2022*. Portugal, 2022.
- [38] IPQ, *NP EN 572-9:2010*. Portugal, 2010.

- [39] IPQ, *NP EN 1748-1-2:2010*. Portugal, 2010.
- [40] IPQ, *NP EN 1748-2-2:2010*. Portugal, 2010.
- [41] IPQ, *NP EN 14178-2:2010*. Portugal, 2010.
- [42] P. L. P. Plácido, *Desenvolvimento de uma ferramenta de cálculo de custos da mão-de-obra direta imputáveis a uma obra*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho 2023.
- [43] E. C. f. Standardization, *EN 12600:2002*. Brussels, 2002.
- [44] IPQ, *NP EN 13830 : 2015+A1:2021*. Portugal, 2021.
- [45] IPQ, *NP 4517: 2015*. Portugal, 2015.
- [46] R. K. a. B. A. M. Feldmann, P. Cruz, J. Belis, J. Beyer, J. Colvin, F. Ensslen, M. Eliasova, L. Galuppi, A. Geßler, C. Grenier, A. Haese, H. Hoegner, R. Kruijs, K. Langosch, Ch. Louter, G. Manara, T. Morgan, J. Neugebauer, V. Rajcic, G. Royer-Carfagni, J. Schneider, S. Schula, G. Siebert, Z. Sulcova, F. Wellershoff, R. Zarnic, *Guidance for European structural design of glass components*. Publications Office of the European Union, 2014, pp. 1-196.
- [47] SIKA, "SIKA FFI- Sealing and Bonding in Facades- Specification Guide," Accessed on: 24/03/2024, Available: <https://nor.sika.com/dms/getdocument.get/faacf8f3-333a-3549-96fd-aaef74be8ceb/Sika%20FFI%20Facade%20Specification%20Guide.pdf>
- [48] Pentagonal, "Fitechnic Point Fixing," Accessed on: 24/03/2024, Available: https://fitechnic.com/wp-content/uploads/2021/04/Fitechnic_Point-Fixing.pdf
- [49] <https://lousalu.pt/projects-category/fachada-vep/>. (23/3/2024).
- [50] S. d. I. (<https://f2i.pt/pt/services/fachadas-diversas/#1603816238747-eb13a621-7f9a>). (23/3/2024).
- [51] IPQ, *NP 4491:2009*. Portugal, 2009.
- [52] S.-G. Glass, *Manual do Vidro*. 2000.
- [53] I. M. B. B. de Magalhães, *Guardas de proteção em edifícios de habitação*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto (Portugal), 2021.
- [54] AFNOR, *NF P01-012*. França, 1988.
- [55] AFNOR, *NF P01-013*. França, 1988.
- [56] AFNOR, *NF DTU 39*. França, 2006.
- [57] B.Standards, "BS 6399 : Part 1:1996," 1996.
- [58] B.Standards, "BS 5395-1:2000," 2000.
- [59] <https://www.iockimo.com/about/iockimo-blog/kind-of-glass-used-in-glass-flooring>. (24/3/2024).
- [60] <https://www.glassonweb.com/article/how-strong-are-glass-floors>. (24/3/2024).
- [61] <https://www.bbc.com/news/av/technology-36494150>. (24/3/2024).
- [62] <https://q-railing.com/pt-pt/guarda-corpos/sistemas/>. (20/4/2024).
- [63] IPQ, *NP EN 1991-1-1:2009*. Portugal, 2009.
- [64] IPQ, *NP EN 1991-1-6:2021*. Portugal, 2021.
- [65] IPQ, *NP EN 1991-1-4:2010*. Portugal, 2010.
- [66] E. C. f. Standardization, *EN 16165:2012*. Brussels, 2012.
- [67] AENOR, *UNE-ENV 12633:2003*. Espanha, 2003.
- [68] https://glassolutions.co.uk/sites/glassolutions.eu/files/2017-09/the_use_of_glass_in_floors_and_stairs.pdf. (3/5/2024).
- [69] E. C. f. Standardization, *EN 12150- 1:2000*. Brussels, 2000.
- [70] E. C. f. Standardization, *EN ISO 12543-5: 1998*, 1998.
- [71] IPQ, *NP ISO 7619-1:2010*. Portugal, 2010.
- [72] R. d. S. Camposinhos, *Manual de Dimensionamento de fachadas envidraçadas - Comportamento Estrutural*. CMM, 2017.
- [73] E. C. f. Standardization, *CEN / TS 19100-2:2021* Brussels, 2021.
- [74] E. C. f. Standardization, *EN 16612:2019*. Brussels, 2019.
- [75] E. C. f. Standardization, *EN 12179:2000*. Brussels, 2000.
- [76] E. C. f. Standardization, *EN 13116:2024*. Brussels, 2024.
- [77] E. C. f. Standardization, *EN 12211:2016*. Brussels, 2016.
- [78] E. C. f. Standardization, *EN 12210:2016*. Brussels, 2016.
- [79] J. C. Viegas, *ITE 51 - Componentes de edifícios*. LNEC, 2012.
- [80] E. C. f. Standardization, *EN 12152:2002*. Brussels, 2002.
- [81] E. C. f. Standardization, *EN 12153:2023*. Brussels, 2023.
- [82] E. C. f. Standardization, *EN 12207:2016*. Brussels, 2016.
- [83] E. C. f. Standardization, *EN 1026:2016*. Brussels, 2016.
- [84] E. C. f. Standardization, *EN 12155:2000*. Brussels, 2000.

- [85] E. C. f. Standardization, *EN 12154:1999*. Brussels, 1999.
- [86] E. C. f. Standardization, *EN 1027:2016*. Brussels, 2016.
- [87] E. C. f. Standardization, *EN 12208:1999*. Brussels, 1999.
- [88] adene, Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios: Direção geral de energia e geologia, 2021. [Online]. Available.
- [89] E. C. f. Standardization, *EN ISO 13790:2008*. Brussels, 2008.
- [90] IPQ, *NP EN 637:2000*. Portugal, 2000.
- [91] IPQ, *NP EN 14351-1:2006+A2:2019*. Portugal, 2019.
- [92] IPQ, *NP EN 14351-2:2018*. Portugal, 2018.
- [93] C. A. P. d. S. e. L. Matias, *ITE50 - Coeficientes de transmissão térmica de elemntos da envolvente dos edifícios*. Lisboa, 2020.
- [94] E. C. f. Standardization, *EN 410:2011*. Brussels, 2011.
- [95] IPQ, *NP EN ISO 140-3:1995*. Portugal, 1995.
- [96] IPQ, *NP EN ISO 717-1:2020*. Portugal, 2020.
- [97] S. d. I. (<https://anfaje.pt/marcacao-ce/>). (12/5/2024).
- [98] IPQ, *NP EN ISO 9001:2000*. Portugal, 2000.
- [99] E. C. f. Standardization, *EN 14019:2016*. Brussels, 2016.
- [100] E. C. f. Standardization, *EN 1364-1:2015*. Brussels, 2015.
- [101] E. C. f. Standardization, *EN 1364-3:2014*. Brussels, 2014.
- [102] E. C. f. Standardization, *EN 1364-4:2014*. Brussels, 2014.
- [103] E. C. f. Standardization, *EN 13947:2006*. Brussels, 2006.
- [104] B.Standards, *BS6180:2011* United Kingdom, 2011.
- [105] E. C. f. Standardization, *EN ISO 10140:2006* Brussels, 2006.

ANEXO 1

GUIA INTERPRETATIVO PARA AS GUARDAS

Os vidros adequados à utilização em guardas são os vidros laminados recozidos e os termotransformados. Para ser possível o preenchimento do guia interpretativo relativo a este sistema presente neste anexo, devem ser consultados os pontos seguintes e a respetiva matriz de importância, caso seja necessário, também deve ser consultado o ponto da dissertação correspondente ao requisito.

Podem ser considerados como vidros termotransformado os vidros à prova de bala (certificados em Portugal por ensaio balístico), os vidros laminados com 2 componentes de temperados e vidros laminados com componente temperado mais componente termoendurecido (utilizados nas guardas), os triplos laminados/vidros estruturais (usados nos pisos, glass fin's e óculos de piscinas), os vidros decorativos e os vidros corta fogo (sendo que, muitas vezes, têm que ter outros constituintes para além do intercalar) e todas as demais composições que por necessidade técnica ou do cliente se demonstrem necessários e ou possíveis de produzir.

Tabela 35 – Resumo dos requisitos a cumprir para as guardas

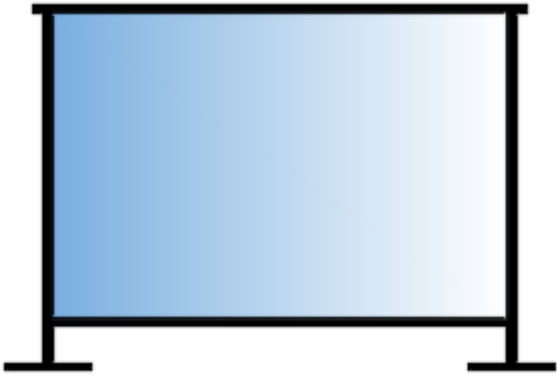
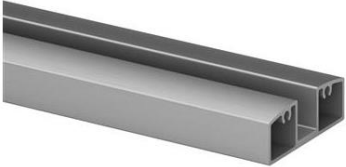
Requisitos a cumprir	Consulta dos pontos da Dissertação
Tipo de Guarda ou Balastrada (1)	3.2.1.1
Categoria de Utilização (segundo eurocódigo 1) (2)	3.2.1.2
Interior/Exterior (3)	3.2.1.3
Definição da dimensão do painel (4)	3.2.1.4
Certificados (5)	3.2.1.5
Verificação à ação do vento (segundo eurocódigo 1) (6)	3.2.1.6

Legenda do guia das guardas

Tipo de Guarda ou Balastrada (1)

Se, inicialmente, não é verificado nem escolhido nenhum tipo de guarda, cabe ao técnico que está a analisar e interpretar o caderno de encargos ou pedido de solicitação a escolha da guarda que melhor se adequa às necessidades técnicas e às necessidades do cliente. Geralmente os materiais destas fixações são em aço inoxidável ou em alumínio. Os cinco tipos considerados e respetivos sistemas de fixação estão definidos na seguinte tabela.

Tabela 36 - Tipos de guardas abordados e respetiva fixação [62]

Tipos de guarda	Tipo de fixação pontual
Tipo 1- Guarda por presilhas 	Presilha para vidro 
Tipo 2- Guarda com apoio linear superior e inferior 	Perfil inferior 
	Perfil superior 
	Acabamento 

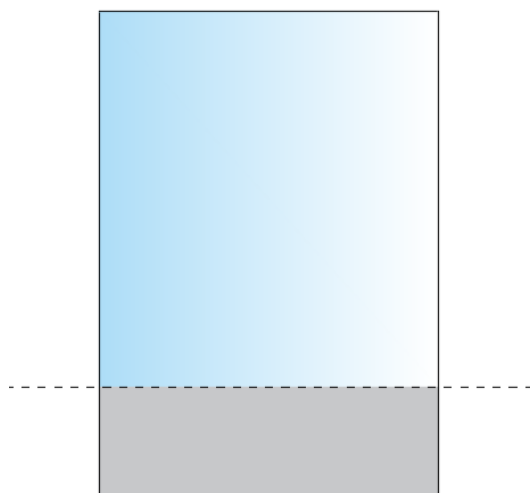
Tipo 3- Guarda tipo Balustrada - Apoio linear com ancoragem no topo da laje



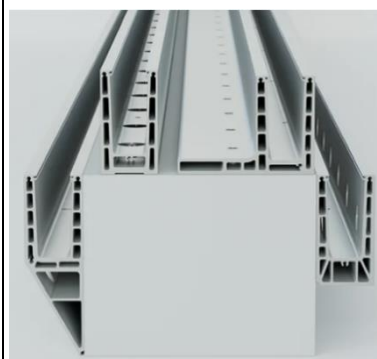
Perfil



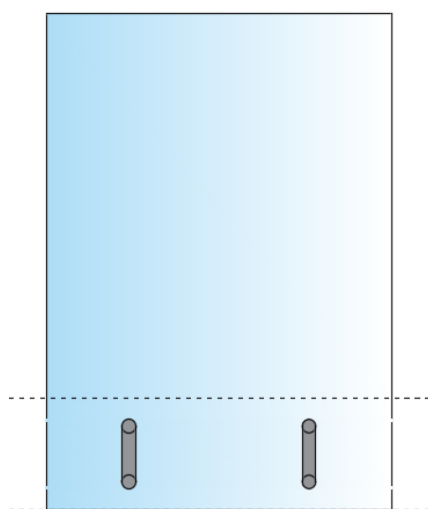
Tipo 4- Guarda Tipo Balustrada - Apoio linear com ancoragem na testa da laje



Perfil



Tipo 5 - Guarda com ligações Pontuais - Botões



Adaptadores de vidro



Categoria de Utilização (segundo eurocódigo 1) (2)

É estabelecida a categoria de utilização onde a guarda vai ser instalada, se é num local de utilização residencial, escritórios, salas de reuniões ou atividade comercial.

Tabela 37 - Valores característicos das cargas consoante a utilização [63]

Utilização específica	Categoria	Carga linear uniformemente distribuída (q_k) [kN/m]
Atividades domésticas e residenciais	A	0,5
Escritórios	B	0,7
Locais de reunião (com exceção das utilizações correspondentes às categorias)	C1	0,7
	C2	1,0
	C4	1,0
	C5	3,0
Atividades comerciais	D	1,0
Zona de armazenamento e atividades industriais	E	2,0
Locais de circulação e de estacionamento para veículos ligeiros	F	(*)
Locais de circulação e de estacionamento para veículos médios	G	(*)

(*) Nota: No caso de cargas horizontais provocadas por veículos em barreiras de segurança, os valores de q_k devem ser estabelecidos caso a caso, podendo tomar-se como base para a sua qualificação a metodologia estabelecida no anexo B da NP EN 1991-1-6:2021 [64].

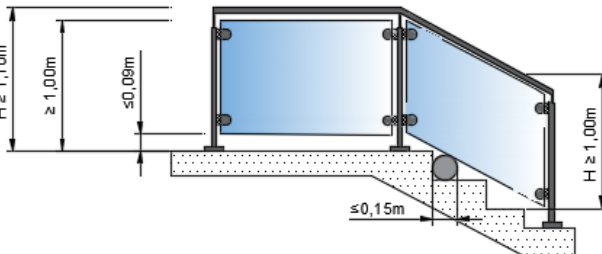
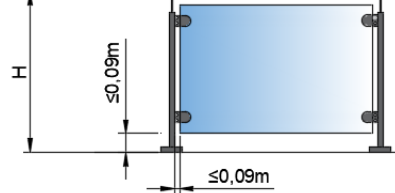
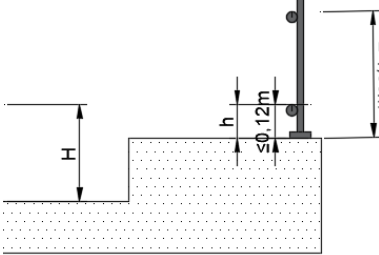
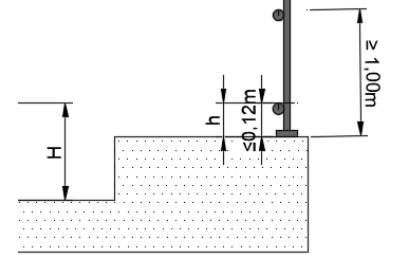
Interior/Exterior (3)

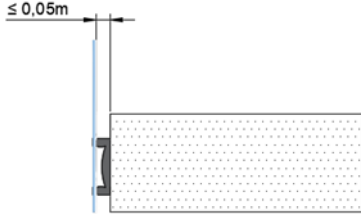
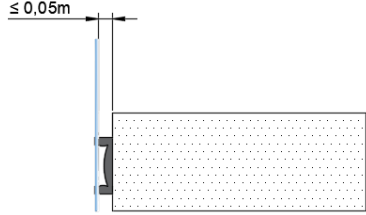
Neste ponto verifica-se a localização da guarda no edifício, isto é, se vai ser inserida no interior ou no exterior do edifício. Se for no interior, não é necessário verificar a guarda à ação do vento, apenas deve ser estabelecida a categoria de utilização, mas se for instalado no exterior tem que ser contabilizada também a ação do vento.

Definição da dimensão do painel (4)

Neste ponto devem ser definidas as dimensões que o painel de vidro deve cumprir respeitando o descrito na NP 4491:2009 [51]:

Tabela 38 - Dimensões das guardas a cumprir (adaptado [51])

Características essenciais	Guardas em escadas ou rampas	Guardas nos outros locais
Altura de proteção (H):	 Na zona dos degraus ou da rampa: $H \geq 1,00$ m Nos patamares: $H \geq 1,10$ m No espaçamento triangular formado pelo degrau e a guarda, não deve ser possível a introdução de um gabarito esférico de 0,15 m de diâmetro.	 $H \geq 1,10$ m
Características complementares		
Altura reduzida de proteção (h) e elementos de apoio	 Não devem existir elementos de apoio que facilitem a escalada, a mais de 0,12 m e a menos de 1,00 m do pavimento. As guardas podem comportar elementos de apoio desde que não haja redução da altura de proteção H. Se o elemento de apoio possibilitar o ajoelhar ou sentar, a altura reduzida de proteção h não deve ser inferior a 0,50 m.	 Não devem existir elementos de apoio que facilitem a escalada, a mais de 0,12 m e a menos de 1,00 m do pavimento. As guardas podem comportar elementos de apoio desde que não haja redução da altura de proteção H. Se o elemento de apoio possibilitar o ajoelhar ou sentar, a altura reduzida de proteção h não deve ser inferior a 0,50 m.

Guardas em plano avançado	 Medido na horizontal, em relação a esse limite não deve exceder 0,05 m;	 Medido na horizontal, em relação a esse limite não deve exceder 0,05 m;
---------------------------	--	--

Certificados (5)

Neste ponto vai ser verificado se as dimensões definidas no ponto anterior estão ou não certificadas pelas marcas escolhidas, incluindo o cumprimento dos requisitos normativos definidos. Dependendo da marca escolhida, as dimensões definidas podem ou não estar certificadas, caso não estejam devem ser definidas novas dimensões, de modo a serem certificadas pela marca todas as dimensões.

Segundo o D.L n.º 130/2013, de 10 de setembro que retifica o Regulamento (UE) n.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de Março de 2011, é imposto que todos os elementos a incorporar na construção civil terão que garantir a salvaguarda de segurança sobre pessoas, animais e bens e não degradar o ambiente, pelo que é de todo aconselhável que todos os sistemas de guardas sejam sujeitos a certificação segundo prEN 4491:2009 [51].

A espessura do vidro e do intercalar deve ser verificadas com a marca escolhida, normalmente está prevista nos certificados das marcas. Dependendo do tipo de utilização, se está localizada no interior ou no exterior etc.

Verificação à ação do vento (segundo eurocódigo 1) (6)

A verificação à ação do vento apenas é necessária se a guarda for instalada no exterior do edifício. Na verificação, devem ser considerados o deslocamento máximo e o desvio padrão de aceleração característica da estrutura à altura z ambos na direção do vento [65](deve ser consultada a NP EN 1991-1-4:2010 [65])

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f q_p(z_c) A_{ref} \quad (1)$$

Onde:

$c_s c_d$: coeficiente estrutural

c_f : coeficiente de força relativo ao elemento da construção

$q_p(z_c)$: pressão dinâmica de pico à altura de referência z_c

A_{ref} : área de referência do elemento da construção

O coeficiente estrutural poderá ser considerado igual a um nas seguintes situações (caso contrário, calcular conforme definido na NP EN 1991-1-4:2010 [65], anexo B):

- Para edifícios de altura inferior a 15m
- Para elementos de fachada e de cobertura cuja frequência própria seja superior a 5Hz
- Para edifícios de estrutura porticada que contenham paredes resistentes e cuja altura seja inferior a 100m e a 4 vezes a dimensão do edifício na direção do vento

O coeficiente de força para elementos retangulares deve ser calculado conforme o definido na NP EN 1991-1-4:2010 [65]:

$$c_f = c_{f,0} \psi_r \psi_\lambda \quad (2)$$

Onde:

$c_{f,0}$: coeficiente de força para elementos de secção retangular com arestas vivas e sem livre escoamento em torno das extremidades (definido na NP EN 1991-1-4:2010 [65])

ψ_r : coeficiente de redução para secções quadradas com cantos arredondados, depende do número de Reynolds (definido na NP EN 1991-1-4:2010 [65])

ψ_λ : coeficiente de efeitos de extremidade para elementos cujas extremidades sejam livremente contornadas pelo vento (definido na NP EN 1991-1-4:2010 [65])

Área de referência do elemento da construção deve ser calculada da seguinte forma [65]:

$$A_{ref} = lb \quad (3)$$

Onde:

l: comprimento do elemento

b: largura do elemento

O desvio padrão $\sigma_{a,x}$ da aceleração característica na direção do vento do ponto da construção situado à altura z , deverá ser obtido pela expressão seguinte [65]:

$$\sigma_{a,x}(z) = \frac{c_f \rho b l v(z_s) v_m^2(z_s)}{m_{1,x}} R K_x \phi_{1,x}(z) \quad (4)$$

Onde:

ρ : massa volúmica do ar

$l_v(z_s)$: intensidade de turbulência à altura $z=z_s$, acima do solo

$v_m(z_s)$: velocidade média do vento para $z=z_s$

z_s : altura de referência

R: raiz quadrada do coeficiente de resposta em ressonância

K_x : coeficiente adimensional

$m_{1,x}$: massa equivalente para o modo fundamental de vibração na direção do vento

$n_{1,x}$: frequência fundamental de vibração da estrutura na direção do vento

$\phi_{1,x}(z)$: configuração do modo fundamental de vibração na direção do vento

Após a caracterização efetiva da ação do vento, deve ser analisada e comparada com as referências estabelecidas a tensão e a deformada que resulta da força atuante. A tensão atuante deve então ser comparada com a tensão máxima admissível do vidro no estado em que se encontra.

A deformada não deve ser superior a 30mm segundo a norma BS6180:2011 [104].

ANEXO 2

GUIA INTERPRETATIVO PARA OS PISOS

Por razões de segurança é considerado que o piso é um elemento estrutural, é utilizado o vidro laminado recozido ou laminado termotransformado com intercalares de PVB, EVA ou Sentry Glass Plus entre outros, de forma a unir de forma permanente e estrutural as camadas de vidro. Um pavimento de vidro deve ser dimensionado num sistema que no mínimo apresente três camadas (laminas de vidro). Para ser possível o preenchimento do guia interpretativo relativo a este sistema presente neste anexo, devem ser consultados os pontos seguintes e a respetiva matriz de importância, caso seja necessário, devem ser consultados os referidos pontos da dissertação para cada requisito a cumprir.

Tabela 39 - Resumo dos requisitos a cumprir para os pisos

Requisitos a cumprir	Consulta dos pontos da Dissertação
Categoria de Utilização (segundo eurocódigo 1) (1)	3.2.2.1
Dimensão do apoio do vidro (2)	3.2.2.2
Piso Interior/Exterior (3)	3.2.2.3
Definição da dimensão do vidro (4)	3.2.2.4
Tipo de material do apoio (5)	3.2.2.5
Dimensão global do piso (6)	3.2.2.6

Legenda do guia dos pisos

Categoria de Utilização (segundo eurocódigo 1) (1)

Segundo a NP EN 1991-1-1:2009 [63], neste ponto é definida a categoria de utilização segundo a sobrecarga a que o piso em vidro vai estar sujeito.

Tabela 40 - Categorias de utilização segundo a sobrecarga a que o piso em vidro vai estar sujeito [63]

Categoria de zonas carregadas	q_k [KN/m ²]	Q_k [KN]
Pavimentos		
A	2,0	2,0
B	3,0	4,0
C1	3,0	4,0
C2	4,0	4,0
C3	5,0	4,0
C4	5,0	7,0
C5	6,0	4,5
D1	4,0	4,0
D2	5,0	6,0
Varandas	5,0 (no mínimo numa faixa de 1m de largura adjacente ao parapeito)	Idêntica à do pavimento adjacente

Escadas	3,0 (no mínimo)	Idêntica à do pavimento adjacente
----------------	-----------------	-----------------------------------

Dimensão do apoio do vidro (2)

Segundo vários manuais da especialidade [52], são definidas as dimensões que os apoios para os vidros dos pisos devem ter.

Tabela 41 - Dependência da largura do apoio em relação à espessura do pavimento [52]

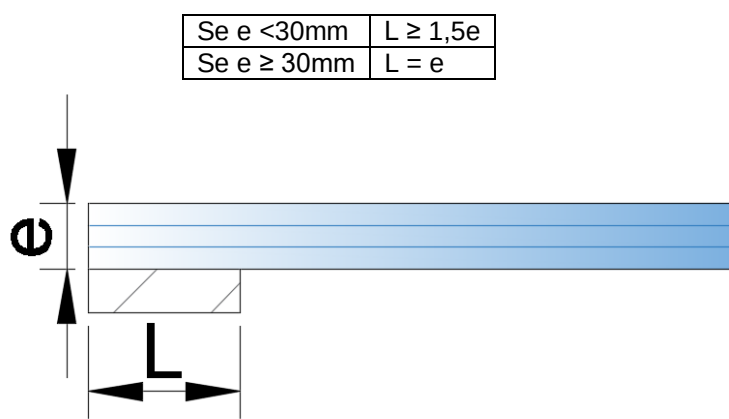


Fig. 19 - Representação das dimensões do apoio e apoio e do pavimento

Piso Interior/Exterior (3)

Quer seja um piso de vidro interior quer seja um piso de vidro exterior deverá passar por processos de tratamento antiderrapante, para serem totalmente seguros. O vidro tem um atrito reduzido e consequentemente fica mais suscetível ao deslizamento. No entanto, esta limitação é ultrapassada pela adição de uma camada em vidro adicional, de espessura inferior, na face superior, com tratamento antiderrapante, podendo este mesmo tratamento ser executado na lâmina mais superior (sem adição de camadas extras) [7].

O nível de atrito poderá ser verificado através de ensaio, sendo comum o ensaio de pêndulo britânico. A classificação final é resultante do valor da resistência ao deslizamento, determinando a classe do mesmo e em que locais deve ser aplicado segundo a norma UNE-ENV 12633:2003 [67]. A tabela seguinte apresenta esta classificação.

Tabela 42 - – Classificação para a resistência ao deslizamento [67]

Resistência ao deslizamento (Rd)	Zonas de aplicação	Classe
$Rd \leq 15$		0
$15 < Rd \leq 35$	Zonas interiores secas	1
$35 < Rd \leq 45$	Zonas interiores húmidas	2
$Rd > 45$	Zonas industriais com derrame de líquidos	3

Definição da dimensão do vidro (4)

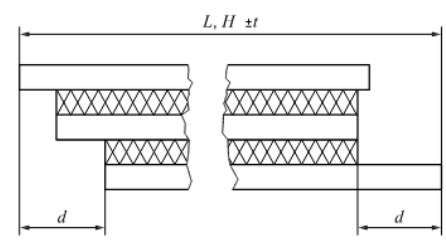
Para o vidro laminado, segundo a norma EN ISO 12543-5: 1998 [70], as tolerâncias para o comprimento e largura nominais são as referidas na tabela seguinte.

Tabela 43 - Tolerâncias para o comprimento e largura nominais [70]

Dimensões nominais de lado (B ou H)	Tolerância t (mm)		
	Espessura nominal do vidro laminado $d \leq 8$ mm	Espessura nominal do vidro laminado $d > 8$ mm	
		Todos os painéis de espessura nominal < 10 mm	Pelo menos um painel de espessura nominal ≥ 10 mm
≤ 2000	+ 3.0 - 2.0	+ 3.5 - 2.0	+ 5.0 - 3.5
≤ 3000	+ 4.5 - 2.5	+ 5.0 - 3.0	+ 6.0 - 4.0
> 3000	+ 5.0 - 3.0	+ 6.0 - 4.0	+ 7.0 - 5.0
Nota: se um dos componentes do vidro laminado for um vidro temperado ou termoendurecido deverá ser considerada uma tolerância adicional de ± 3.0 mm			

O desalinhamento máximo admissível deverá ser tido em conta nas tolerâncias ao comprimento e largura. Os valores máximos de d, de acordo com a norma EN ISO 12543-5: 1998 [70] encontram-se indicados na tabela 18.

Tabela 44 - Valores máximos de d [70]

Dimensões nominais B ou H (mm)	Desalinhamento máximo admissível d (mm)	
$B, H \leq 1000$	2.00	
$1000 < B, H \leq 2000$	3.00	
$2000 < B, H \leq 4000$	4.00	
$B, H > 4000$	6.00	

Tipo de material do apoio (5)

O vidro tem uma dureza de 6,5 na escala de Mohs (ou 50 Shores), as matérias de apoio devem ter uma dureza entre 60 a 80 Shore [52]. Podem ser usados polímeros entre eles, borrachas, para os apoios. Para determinar a dureza da borracha a aplicar, deve ser elaborado o ensaio, método do durómetro – dureza de Shore, presente na norma NP ISO 7619-1:2010 [71].

Dimensão global do piso (6)

Dependendo do tipo de material do apoio estabelecido no ponto anterior (se é ou não bom condutor), pode ou não ser necessário ter que ligar o apoio à “terra”. Este aspeto assume maior importância quando o piso apresenta grande dimensão (mesmo que formado por vários painéis de vidro).

ANEXO 3

GUIA INTERPRETATIVO PARA AS FACHADAS

Os vidros adequados à utilização em fachadas são os vidros isolantes, normalmente, no interior vidro laminado e no exterior temperado. A parede envidraçada deve ser constituída por vidro isolante permitindo obter um melhor isolamento térmico. Para ser possível o preenchimento do guia interpretativo relativo a este sistema presente neste anexo, devem ser consultados os pontos seguintes e a respetiva matriz de importância, se necessário, devem ser consultados os pontos da dissertação correspondentes aos referidos requisitos a cumprir.

Tabela 45 - Resumo dos requisitos a cumprir para as fachadas

Requisitos a cumprir	Consulta dos pontos da Dissertação
Dimensionamento ao vento e ao peso próprio (segundo eurocódigo 1) (1)	3.2.3.1
Comportamento ao ar (2)	3.2.3.2
Comportamento à água (3)	3.2.3.3
Comportamento térmico (4)	3.2.3.4
Segurança (5)	3.2.3.5
Acústica (6)	3.2.3.6
Ensaio e Marcação CE dos sistemas de fachada (7)	3.2.3.7

Legenda do guia das fachadas

Dimensionamento ao vento e ao peso próprio (segundo eurocódigo 1) (1)

Deformação máxima

Para os diferentes sistemas de fachada, o vidro instalado deve cumprir o descrito nas normas CEN / TS 19100-2:2021 [73] e EN 16612:2019 [74] para os limites da deformação máxima.

O valor máximo da flecha, $\delta_{\max}$, é calculado a partir da secção bruta dos perfis, desprezando o possível aumento de rigidez proporcionado pelos próprios painéis envidraçados.

Segundo a norma CEN/ TS 19100-2:2021 [73], a flecha máxima $\delta_{\max}$, devida ao peso próprio dos painéis, no caso da ação do vento, é definida em função da distância entre apoios, L , dos mainéis e/ou das travessas. Deve ser consultada a tabela seguinte para se saber qual o valor da flecha máxima $\delta_{\max}$ a cumprir.

Tabela 46 - Deformações máximas típicas para vidro e suportes [73]

	Condições de suporte	Deformação máxima dos lados apoiados	Deformação máxima do lado livre	Deformação limite no centro
Componentes do vidro	Apoiado em todos os lados	De acordo com o ponto 5.7 da NP EN 13830 : 2015+A1:2021 [44]		L/50
	Apoiado em dois ou três lados	De acordo com o ponto 5.7 da NP EN 13830 : 2015+A1:2021 [44]	L/100	
	Apoiado pontualmente em dois ou três lados	L/150	L/100	L/50
	Ponto fixo		L/100	L/50

Resistência ao vento

As fachadas leves devem ser submetidas a ensaios de resistência ao vento segundo a norma NP EN 1279-5:2005+A2:2013 [30] e os respectivos resultados avaliados de acordo com a norma EN 13116:2024 [76]. Se forem folhas móveis devem ser submetidas a ensaio de resistência ao vento de acordo com a norma EN 12211:2016 [77] e os respectivos resultados classificados de acordo com a norma EN 12210:2016 [78].

No caso de fachadas leves em vidro, não estão definidas classes que reúnam os resultados de ensaio. Assim, deverão ser comparados os valores de pressão de ensaio e a respetiva flecha obtida com os critérios de pressão do vento, presentes na tabela 47, referente ao estado limite de utilização, e com a flecha máxima admissível de 1/200 do vão (em termos relativos) e 15mm (em termos absolutos).

Tabela 47 - Valor de cálculo da pressão do vento atuante em fachadas leves com vidro [79]

Cota	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
< 10	1000	1310	1850	1210	1580	2240
10m a 15m	1000	1450	2000	1210	1760	2420
15m a 18m	1070	1520	2080	1290	1840	2510
18m a 28m	1240	1720	2270	1500	2080	2750
28m a 40m	1410	1900	2440	1710	2300	2960
40m a 50m	1530	2020	2560	1860	2440	3100
50m a 60m	1640	2130	2660	1990	2580	3220
60m a 70m	1740	2230	2750	2110	2690	3320
70m a 80m	1840	2310	2830	2220	2800	3420
80m a 90m	1920	2400	2900	2330	2900	3500
90m a 100m	2000	2470	2960	2420	2990	3580

Nota: É frequente no mercado da especialidade usar como referência a classificação por classes segundo a norma EN 12210:2016 [78].

Comportamento ao ar (2)

A permeabilidade ao ar é um fator de extrema importância no que toca ao conforto no interior do edifício. A classificação das folhas fixas das fachadas leves quanto à permeabilidade ao ar deve ser feita segundo a norma EN 12152:2002 [80] e estas são ensaiadas conforme a norma EN 12153:2023 [81] (se forem de folha móvel deve ser seguida a EN 12207:2016 [82] para a classificação e ensaiadas segundo a norma EN 1026:2016 [83]. Deve-se proceder à seleção das folhas fixas consoante a cota a que vai estar, a região onde vão ser instalada, se a fachada vai ou não estar abrigada e a rugosidade aerodinâmica do local de implantação. Depois de definidos estes parâmetros, deve ser estabelecida a classe mínima a cumprir, segundo a seguinte tabela, sendo que não podem ser ultrapassados os limites superiores de qualquer pressão de ensaio estabelecidos para cada classe.

Tabela 48 - Valores das pressões-limite (em Pa) para cada classe de permeabilidade ao ar [79]

Classes	$P_{0,1}$	$P_{0,02}$
A1	$P_{0,1} \leq 20$	$P_{0,02} \leq 32$
A2	$20 \leq P_{0,1} \leq 41$	$32 \leq P_{0,02} \leq 65$
A3	$41 \leq P_{0,1} \leq 61$	$65 \leq P_{0,02} \leq 97$
A4	$61 \leq P_{0,1} \leq 81$	$97 \leq P_{0,02} \leq 129$
AE	$81 \leq P_{0,1} \leq 129$	$129 < P_{0,02}$

Tabela 49 - Seleção da classe de permeabilidade ao ar de folhas fixas de fachadas leves [79]

Cota	Fachadas abrigadas	Fachada não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
10	A1	A1	A2	A3	A1	A2	A3
15	A1	A1	A2	A3	A1	A2	A3
18	A1	A1	A2	A3	A1	A2	A3
28	A1	A2	A2	A3	A2	A3	A4
40		A2	A3	A3	A2	A3	A4
50		A2	A3	A4	A2	A3	A4
60		A2	A3	A4	A2	A3	A4
70		A2	A3	A4	A3	A4	AE
80		A2	A3	A4	A3	A4	AE
90		A3	A3	A4	A3	A4	AE
100		A3	A3	A4	A3	A4	AE

Comportamento à água (3)

Não se pode admitir fachadas leves com folhas fixas de classes de estanquidade à água inferiores a R6 (pressões inferiores a 450 Pa). A classificação das folhas fixas de fachadas leves quanto à estanquidade à água deve ser feita segundo a norma EN 12154:1999 [85] e estas são ensaiadas segundo a norma EN 12155:2000 [84]. No caso de folhas móveis, devem ser submetidas ao ensaio segundo a norma EN 1027:2016 [86] e os respectivos resultados classificados de acordo com a norma EN 12208:1999 [87]. As folhas fixas de fachadas leves devem ser escolhidas conforme a cota a que vão estar, a rugosidade aerodinâmica do local de implantação, a região onde vão ser instaladas e se a fachada vai ou não estar abrigada. Depois de definidos estes parâmetros, deve ser estabelecida a classe mínima que as folhas fixas devem cumprir.

Tabela 50 - Valores das pressões limite (em Pa) para cada classe de estanquidade à água [79]

Classes	$P_{0,1}$
R6	$P_{0,1} \leq 450$
R7	$450 \leq P_{0,1} \leq 600$
RE ₇₅₀	$600 \leq P_{0,1} \leq 750$

Tabela 51 - Seleção da classe de estanquidade à água de folhas fixas de fachadas leves [79]

Cota	Fachadas abrigadas	Fachada não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
10	R6	R6	R6	R6	R6	R6	R6
15	R6	R6	R6	R6	R6	R6	R6
18	R6	R6	R6	R6	R6	R6	R6
28	R6	R6	R6	R6	R6	R6	R7
40		R6	R6	R7	R6	R6	R7
50		R6	R6	R7	R6	R6	R7
60		R6	R6	R7	R6	R7	RE750
70		R6	R6	R7	R6	R7	RE750
80		R6	R6	R7	R6	R7	RE750
90		R6	R7	R7	R6	R7	RE750
100		R6	R7	R7	R6	R7	RE750

Comportamento térmico (4)

Os principais indicadores e dados climáticos para a avaliação do DEE devem ser consultados no PCE do edifício em questão (tal como apresentado na tabela seguinte) e devem ser comparados com os valores de referência estabelecidos no ponto 16.2 do Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88].

Tabela 52 - Principais indicadores para a avaliação do DEE

Principais indicadores	Dados climáticos
N_{ic}	Altitude
N_{vc}	Graus-dia
Q_a	Temperatura média exterior
W_{vm}	Zona climática de Inverno
E_{ren}	Zona climática de Verão
$E_{ren,ext}$	Duração da estação de aquecimento
N_{tc}	Duração da estação de arrefecimento

Pré-certificado energético (PCE)

Deve ser consultado o ponto do PCE relativamente aos vãos envidraçados de forma a conhecer o fator solar e o coeficiente de transmissão térmica do envidraçado, que devem ser comparados com os valores de referência estabelecidos no ponto 16.2 do Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios [88].

Segurança (5)

Resistência ao impacto e comportamento pós quebra

Nas fachadas VEA, os componentes em vidro devem ser escolhidos em função das regras relativas à segurança dos utilizadores e das especificidades particulares do VEA [52]:

- Limitação do risco de lesões de pessoas por queda de fragmentos importantes em caso de quebra do vidro;
- Segurança relativamente à queda de pessoas;
- Segurança em caso de incêndio;
- Segurança dos utilizadores e dos intervenientes durante as operações de conservação e manutenção;
- Segurança em caso de sismo.

Para os vidros duplos especialmente concebidos para a colocação em VEC, o produto deve considerar [52]:

- os efeitos de eventuais choques
- o efeito de um incêndio
- o efeito dos sismos
- a ação da temperatura
- etc

O vidro é considerado como resistente aos choques se não tiver sido arrastado ou atravessado, a sua fissuração é admitida.

Nas fachadas devem ser usados vidros de segurança de forma a minimizar o risco de ferimentos causado por fragmentos. Devem satisfazer os seguintes requisitos:

- Resistir ao impacto sem quebrar, satisfazendo pelo menos a classe 3 de altura de queda da massa de impacto da norma EN 12600:2002 [43].
- Se o vidro quebrar no ensaio de impacto, os fragmentos do vidro não devem ser causa de ferimentos nas pessoas. Ou seja, os fragmentos gerados devem: ser de pequena dimensão, satisfazendo os critérios aplicáveis aos fragmentos de vidro temperado, devem ficar agregados sem cair satisfazendo no mínimo a classe 3B do ensaio de impacto da norma EN 12600:2002 [43].

São considerados vidros de segurança os vidros laminados e os vidros temperados termicamente. Para os vidros duplos serem vidros de segurança, ambas as folhas devem ser vidros de segurança.

Segurança ao fogo

É apenas feita uma breve referência a este aspeto tão importante, a segurança contra o fogo. O objetivo final deverá ser sempre a salvaguarda da vida dos ocupantes em caso de situação de emergência, através da implementação de medidas de prevenção e combate a incêndios fundamentadas nos regulamentos

existentes (Portaria 135/2020, Lei 123/2019, entre outros). É necessário um projeto de incêndios específico, onde são contabilizados todos os dispositivos corta fogo necessários, locais de risco, vias de evacuação etc, por isso apenas vão ser enumerados pequenos aspetos em relação ao vidro mais utilizado numa situação onde é requerido este ser resistente ao fogo. Ao serem escolhidos vidros corta fogo, o seu desempenho não só depende do tipo de caixilharia como do tipo de vidro a ser usado. Os painéis mais adequados para resistirem ao fogo devem ser isolantes com mais de duas chapas e o intercalar a separá-las deve ser de um gel polímero (com elevada percentagem de água e sais inorgânicos) [52]. Devem também ser usados dispositivos corta fogo (*sprinklers*) nas fachadas cortina e os perfis verticais que encontram apoio nas lajes devem passar por um tratamento ignífugo [72]. O material que se tem mostrado mais adequado em caso de incêndio tem sido o aço inoxidável austenítico, que apresenta ainda uma resistência considerável aos 800°C e cuja fusão se verifica acima dos 1400°C, contudo outros materiais estruturais podem ser usados na composição de fachadas e vãos, desde que testado e homologados segundo EN 1364-1, 3 e 4. O vidro temperado não pode ser utilizado em locais de fuga em caso de incêndio.

Acústica (6)

O desempenho acústico dos envidraçados não pode ser analisado sem serem considerados os elementos de suporte, caixilharia e vedantes. É fundamental usar vidro laminado isolante e que as espessuras das chapas do painel sejam suficientemente diferentes, para que os valores das frequências de vibração também o sejam [52]. O intercalar usado nos vidros laminados, de forma a ser possível atingir coeficientes de amortecimento superiores aos do PVB é o SAF [72]. Os valores ensaiados do índice de atenuação acústica devem ser obtidos segundo a norma ISO 140-3:1995 [95] e devem ser comparados com os valores de referência apresentados de seguida na tabela, segundo a ISO 717-1:2020 [96].

Tabela 53 - Valores de referência para sons de condução aérea [96]

Banda de frequências	Valores de referência [dB]	
	Bandas de terços de oitava	Bandas de oitava
100	33	36
125	36	
160	39	
200	42	45
250	45	
315	48	
400	51	52
500	52	
630	53	
800	54	55
1000	55	
1250	56	

1600	56	56
2000	56	
2500	56	
3150	56	

As marcas ensaiam os provetes de vidro e obtêm os respetivos valores do índice de redução sonora, entre outros aspetos, segundo as normas NP EN 1279-5:2005+A2:2013 [30] e EN ISO 10140:2006 [105]. Os dados de desempenho acústico fornecidos nos relatórios de ensaio apenas podem ser usados se o vidro real for idêntico ao provete ensaiado. Se a marca não ensaiou o vidro que o cliente pretende, este deve contactar diretamente a marca ou optar por outro vidro com características semelhantes, mas que foi ensaiado. Quando ensaiam os provetes, as marcas não o fazem para todas as frequências presentes na tabela 53, ensaiam, por exemplo, para cinco ou seis das dezasseis da tabela, ou seja, são feitas interpolações entre as dezasseis frequências de forma a, expandir os valores calculados. Como dito anteriormente, o desempenho acústico de um vidro depende não só do tipo de vidro como dos elementos de suporte, caixilharia e vedantes.

De notar que o desempenho acústico de um vidro não caracteriza por si só o desempenho acústico da fachada, caso seja imperativo a classificação efetiva da fachada é necessário efetuar-se ensaio para a frequências impostas pelos projetistas segundo os requisitos que tenham sido impostos pelo Dono de Obra.

Ensaio e Marcação CE dos sistemas de fachada (7)

A Marcação CE é uma certificação de conformidade, que comprova que os produtos comercializados na União Europeia foram avaliados pelo fabricante e respeitam os requisitos essenciais de segurança, saúde e proteção do ambiente imposto [97].

A Marcação CE deve ser colocada de forma visível, facilmente legível, nas fachadas, numa etiqueta nela fixada, na respetiva embalagem ou nos documentos comerciais de acompanhamento. Deve conter a seguinte informação [97]:

- Nome e morada ou marca comercial registada do fabricante;
- Dois últimos dígitos do ano em que se obteve a Marcação CE de conformidade;
- Referência à norma portuguesa NP EN 13830:2015+A1:2021 [44];
- Descrição do produto (nome genérico, material, dimensões e uso previsto);
- Informação sobre as características obrigatórias.

Tabela 54 - Resumo das normas correspondentes a cada aspecto

Aspecto ensaiado	Norma
Resistência ao impacto	EN 14019:2016 [99]e EN 12600:2002 [43]
Resistência ao fogo	EN 1364 -1, 3 e 4 [100] [101] [102]
Resistência ao vento	EN 12179:2000 [75] e EN 13116:2024 [76]
Estanquidade à água	EN 12155:2000 [84] e EN 12154:1999 [85]
Permeabilidade ao ar	EN 12153:2023 [81] e EN 12152:2002 [80]
Coeficiente de transmissão térmica de fachadas cortina (Ucw)	EN 13947:2006 [103]
Fator solar do vidro (g)	EN 410:2011 [94]
Desempenho acústico	Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei nº96/2008, de 9 de junho)
Índice de atenuação acústica	ISO 140-3:1995 [95] e ISO 717-1:2020 [96]

ANEXO 4

As tabelas resumo de verificação que se apresentam a seguir devem ser vistas como exemplo para auxiliar na verificação dos requisitos a cumprir para cada sistema construtivo abordado. Se necessário pode assumir aparência e forma diferentes.

Tabela Resumo de Verificação para as Guardas				Data: __/__/__	
				Logótipo da Empresa	
Obra/Projeto:					
Entidade:					
Localização da guarda em Obra:					
Requisitos a cumprir	Notas	Verificação	Conclusões Parciais		
Tipo de Guarda ou Balaustrada	Consultar o ponto (1) do anexo 1				
Categoria de Utilização (segundo eurocódigo 1)	Consultar o ponto (2) do anexo 1				
Guarda Interior/Exterior	Consultar o ponto (3) do anexo 1				
Definição da dimensão do painel	Consultar o ponto (4) do anexo 1				
Certificados	Consultar o ponto (5) do anexo 1				
Verificação à ação do vento (segundo eurocódigo 1)	Consultar o ponto (6) do anexo 1				
Definição Final:					
Observações:					

Executado por:

Tabela Resumo de Verificação para os Pisos			Data: __/__/__
			Logótipo da Empresa
Obra/Projeto:			
Entidade:			
Localização do piso em Obra:			
Requisitos a cumprir	Notas	Verificação	Conclusões Parciais
Categoria de Utilização (segundo eurocódigo 1)	Consultar o ponto (1) do anexo 2		
Dimensão do apoio do vidro	Consultar o ponto (2) do anexo 2		
Piso Interior/Exterior	Consultar o ponto (3) do anexo 2		
Definição da dimensão do vidro	Consultar o ponto (4) do anexo 2		
Tipo de material do apoio	Consultar o ponto (5) do anexo 2		
Dimensão global do piso	Consultar o ponto (6) do anexo 2		
Definição Final:			
Observações:			

Executado por:

Tabela Resumo de Verificação para as Fachadas			Data: __/__/__	
			Logótipo da Empresa	
Obra/Projeto:				
Entidade:				
Localização da fachada em Obra:				
Requisitos a cumprir	Notas	Verificação	Conclusões Parciais	
Dimensionamento ao vento e ao peso próprio (segundo eurocódigo 1)	Consultar o ponto (1) do anexo 3			
Comportamento ao ar	Consultar o ponto (2) do anexo 3			
Comportamento à água	Consultar o ponto (3) do anexo 3			
Comportamento térmico	Consultar o ponto (4) do anexo 3			
Segurança	Consultar o ponto (5) do anexo 3			
Acústica	Consultar o ponto (6) do anexo 3			
Ensaios e Marcação CE dos sistemas de fachada	Consultar o ponto (7) do anexo 3			
Definição Final:				
Observações:				

Executado por:
