

SELEÇÃO EXIGENCIAL DE VÃOS ENVIDRAÇADOS

JOÃO PEDRO SILVESTRE SANTOS

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

Orientador: Professor Doutor Vasco Manuel Araújo Peixoto de Freitas

MARÇO DE 2025

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2024/2025

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.

Aos meus familiares e amigos

AGRADECIMENTOS

Existem pessoas que passam pela nossa vida cujo objetivo é ajudarem-nos a subir. Gostaria de agradecer às pessoas que me ajudaram neste nível:

Ao Professor Vasco Freitas por toda a disponibilidade e orientação bem como pelo prazer de presenciar o seu método de ensino e paixão pelo seu trabalho ao longo dos vários anos do curso.

Aos meus pais e irmã, por todos os ensinamentos de vida, pelo amor, apoio e paciência em todos os meus momentos mais difíceis.

À Beatriz, pelo apoio e presença incondicional, neste que foi um ano difícil.

Ao meu pai, padrinho e à empresa Irmãos J. Santos, Lda., por toda a ajuda, disponibilidade e oportunidades que me oferecem.

À empresa Perficaixi, Lda., e ao gerente, Delfim Saraiva, pela prontidão na facultações de documentos críticos para a escrita deste trabalho.

RESUMO

A caixilharia é um constituinte que preenche um vão, quer em portas ou janelas, sendo os seus principais objetivos o isolamento acústico e térmico, a proteção dos vãos às intempéries tais como vento e chuva e ainda a entrada de luz natural no edifício.

O setor da construção civil tem vindo a registar um crescimento notável a nível do número de soluções disponíveis no mercado para a realização de qualquer obra de engenharia civil, neste caso, em relação aos vãos envidraçados. Este aumento significativo torna necessária a criação de um modelo de seleção exigencial cujo objetivo é, de todas as soluções disponíveis, escolher a que é a mais adequada para a aplicação que se pretende, de forma a tornar mais eficaz a escolha de soluções por parte do arquiteto, projetista, e ainda, o cliente.

O modelo de seleção exigencial é uma ferramenta que permite a ligação entre o desempenho e qualidade dos materiais, que fazem parte do componente em estudo (neste caso, o vidro e o caixilho), com o objetivo final pretendido. É um instrumento que define as exigências, cujos produtos têm de satisfazer para que se consiga cumprir o desempenho pretendido.

Para isso é necessário definir quais são as exigências a qualificar e dimensionar, sejam elas legais ou funcionais, tais como, coeficiente de transmissão térmica, fator solar, transmissão luminosa, resistência ao choque térmico, isolamento aos sons aéreos, permeabilidade ao ar, estanqueidade à água e resistência ao vento. A definição destas exigências é feita tendo por base regulamentos e leis emitidas pelo governo para as exigências que se consideram legais, e ainda, documentos técnicos de apoio emitidos por laboratórios e institutos devidamente certificados e testados através de ensaios.

O modelo de seleção exigencial define o nível mínimo, médio e otimizado para as exigências coeficiente de transmissão térmica, fator solar, isolamento aos sons aéreos e transmissão luminosa, e define ainda o nível 0 e 1 para as exigências resistência ao choque térmico, permeabilidade ao ar, estanquidade à água e resistência ao vento, uma condição de verificação dos níveis definidos pelas normas em vigor.

Por fim, a aplicação do modelo utilizando um caso de estudo real permite observar a sua validade e escopo de aplicação no setor da construção civil, mostrando ainda as suas limitações e possíveis alterações de modo a refinar o modelo.

PALAVRAS-CHAVE: Caixilharia, Seleção Exigencial, Desempenho, Certificação.

ABSTRACT

The window frame is a component that fills a gap in a wall, with doors or windows, and its main objectives are acoustic and thermal insulation, protection of the gaps in the elements from weather conditions such as wind and rain, and also the entry of natural light into the building.

The construction sector has been experiencing a notable growth in the number of solutions available on the market for carrying out any civil engineering work, in this case, in relation to window frames. This significant increase makes it necessary to create a demanding selection model whose objective is to choose the most appropriate solution for the intended application from all the available solutions, in order to make the choice of solutions by the architect, designer, and also the client more efficient.

The demanding selection model is a tool that allows the connection between the performance and quality of the materials that make up the component under study (in this case, the glass and the frame) with the desired end goal. It is an instrument that defines the requirements that the products must satisfy in order to achieve the desired performance.

To do this, it is necessary to define the requirements to be qualified and dimensioned, whether legal or functional, such as thermal transmission coefficient, solar factor, light transmission, resistance to thermal shock, insulation against airborne noise, air permeability, water tightness and wind resistance. The definition of these requirements is based on regulations and laws issued by the government for the requirements that are considered legal, and also on supporting technical documents issued by duly certified laboratories and institutes tested through tests.

The requirement selection model defines the minimum, average and optimized level for the requirements of thermal transmission coefficient, solar factor, insulation against airborne noise and light transmission, and also defines level 0 and 1 for the requirements of resistance to thermal shock, air permeability, water tightness and wind resistance, a condition for verifying the levels defined by the standards in force.

Finally, the application of the model using a real case study allows us to observe its validity and scope of application in the construction sector, also showing its limitations and possible changes in order to refine the model.

KEYWORDS: Frames, Demanding Selection, Performance, Certification.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS	1
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	1
 2. CAIXILHARIAS	 3
2.1. TIPOS DE CAIXILHARIAS	3
2.1.1. MADEIRA	3
2.1.2. ALUMÍNIO	4
2.1.3. PVC	5
2.1.4. AÇO/INOX	7
2.1.5. VEDANTES	8
2.1.6. ACESSÓRIOS	9
2.2. INÉRCIA TÉRMICA DOS CAIXILHOS	9
2.3. MODO DE ABERTURA DAS CAIXILHARIAS	10
2.4. PROPRIEDADES FÍSICAS DO VIDRO	13
2.5. TIPOS DE VIDRO UTILIZADOS EM CAIXILHOS	14
2.5.1. VIDRO TEMPERADO	14
2.5.2. VIDRO LAMINADO	15
2.5.3. VIDRO DUPLO	16
2.5.4. VIDRO REVESTIDO SUPERFICIALMENTE	17
2.5.4.1. Vidro de controlo solar de alta refletividade	18
2.5.4.2. Vidro baixo-emissivo ou Low-E	18
2.5.5. TIPO DE BORDO	19
2.6. SISTEMAS DE FIXAÇÃO DE VIDROS EM CAIXILHOS	20
2.6.1. GOLA	20
2.6.2. COLAGEM – VEC (VIDRO EXTERIOR COLADO)	20

2.6.3. FIXAÇÃO MECÂNICA	21
2.6.3.1. Vidro Exterior Agrafado (VEA).....	21
2.7. CERTIFICAÇÃO DE CAIXILHARIAS	22
2.7.1. MARCAÇÃO CE	22
2.7.2. CLASSE+	23
2.8. SÍNTESE DO CAPÍTULO 2.....	24
 3. EXIGÊNCIAS	 27
3.1. ORGANIZAÇÃO DO CAPÍTULO	27
3.2. MÉTODO EXIGENCIAL	27
3.3. TIPOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS	28
3.3.1. EXIGÊNCIAS LEGAIS E FUNCIONAIS.....	28
3.3.2. EXIGÊNCIAS OBJETO DE ESTUDO	28
3.3.2.1. Regulamentação	29
3.3.2.2. Documentos técnicos de apoio	29
3.3.2.3. Norma Portuguesa	29
3.4. AVALIAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS LEGAIS	30
3.4.1. COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA	30
3.4.1.1. Zona climática	31
3.4.2. FATOR SOLAR.....	32
3.4.2.1. Inércia Térmica.....	34
3.4.3. ISOLAMENTO AOS SONS AÉREOS	35
3.5. AVALIAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS.....	37
3.5.1. TRANSMISSÃO LUMINOSA.....	37
3.5.2. RESISTÊNCIA AO CHOQUE TÉRMICO	41
3.5.2.1. Cálculo da resistência ao choque térmico	42
3.5.2.2. Análise do estado de tensão.....	44
3.5.2.3. Verificação da condição de choque térmico	45
3.5.3. DETERMINAÇÃO DO EFEITO DA AÇÃO DO VENTO - PERMEABILIDADE AO AR, ESTANQUIDADE À ÁGUA E RESISTÊNCIA AO VENTO	45
3.5.3.1. Região do território.....	45
3.5.3.2. Rugosidade aerodinâmica	45
3.5.3.3. Altura da caixilharia acima do solo	45

3.5.3.4. Fachada abrigada ou não abrigada	45
3.5.4. PERMEABILIDADE AO AR	46
3.5.5. ESTANQUIDADE À ÁGUA.....	47
3.5.6. RESISTÊNCIA AO VENTO	49
3.6. OUTRAS EXIGÊNCIAS NÃO AVALIADAS NESTA DISSERTAÇÃO	50
3.6.1. RESISTÊNCIA AO CHOQUE DE CORPOS SÓLIDOS	50
3.6.2. RESISTÊNCIA AO FOGO	50
3.6.3. CONDENSAÇÕES	50
3.6.4. VENTILAÇÃO.....	50
3.7. SÍNTESE DO CAPÍTULO 3	50
 4. MODELO DE SELEÇÃO EXIGENCIAL	 53
4.1. CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE QUALIDADE DAS DIFERENTES EXIGÊNCIAS	53
4.2. QUANTIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE EXIGÊNCIA MÍNIMO, MÉDIO E OTIMIZADO	53
4.2.1. COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA.....	53
4.2.2. FATOR SOLAR.....	56
4.2.3. ISOLAMENTO AOS SONS AÉREOS	57
4.2.4. TRANSMISSÃO LUMINOSA.....	60
4.3. QUANTIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE EXIGÊNCIA 0 E 1	61
4.3.1. RESISTÊNCIA AO CHOQUE TÉRMICO	61
4.3.1.1. Exemplo de aplicação	61
4.3.1.2. Resultados e análise	63
4.3.2. NÍVEL 0 E 1 – PERMEABILIDADE AO AR, ESTANQUIDADE À ÁGUA E RESISTÊNCIA AO VENTO.....	64
4.3.3. PERMEABILIDADE AO AR.....	65
4.3.4. ESTANQUIDADE À ÁGUA.....	65
4.3.5. RESISTÊNCIA AO VENTO	66
4.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO 4	66
 5. APLICAÇÃO DO MODELO	 69
5.1. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	69
5.1.1. ANÁLISE DO MAPA DE VÃOS DO CASO DE ESTUDO	71
5.2. APLICAÇÃO	73
5.2.1. ZONAS CLIMÁTICAS.....	73

5.2.1.1. Cálculo da zona climática de Inverno.....	75
5.2.1.2. Cálculo da zona climática de Verão	75
5.2.2. INÉRCIA TÉRMICA.....	76
5.2.3. REGIÃO DO TERRITÓRIO.....	76
5.2.4. RUGOSIDADE AERODINÂMICA	76
5.2.5. ALTURA ACIMA DO SOLO.....	77
5.2.6. TIPO DE FACHADA.....	78
5.2.7. APLICAÇÃO DO MODELO – SOLUÇÃO BASE.....	79
5.2.7.1. Coeficiente de transmissão térmica	80
5.2.7.2. Fator solar.....	81
5.2.7.3. Transmissão luminosa.....	81
5.2.7.4. Isolamento aos sons aéreos.....	81
5.2.7.5. Permeabilidade ao ar, estanquidade à água e resistência ao vento	81
5.2.8. RESULTADO DA APLICAÇÃO – SOLUÇÃO BASE.....	83
5.2.9. APLICAÇÃO DO MODELO – SOLUÇÃO CORRIGIDA.....	84
5.2.9.1. Coeficiente de transmissão térmica	84
5.2.9.2. Isolamento aos sons aéreos.....	84
5.2.9.3. Permeabilidade ao ar, estanquidade à água e resistência ao vento	84
5.2.10. RESULTADO DA APLICAÇÃO – SOLUÇÃO CORRIGIDA	85
5.3. SÍNTESE DO CAPÍTULO 5	86
 6. CONCLUSÃO	 87
6.1. SÍNTESE DA ABORDAGEM	87
6.2. TRABALHOS FUTUROS	87
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 89

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Caixilharia de madeira.....	4
Fig. 2 – Caixilharia de alumínio	5
Fig. 3 – Caixilharia composta por alumínio no exterior e PVC no interior	6
Fig. 4 – Caixilharia composta aço	7
Fig. 5 – Localização de vedantes.....	8
Fig. 6 – Exemplos de alguns tipos de perfis de borracha	9
Fig. 7 – Janela Guilhotina-Basculante	10
Fig. 8 – Janela/Porta Batente.....	11
Fig. 9 – Janela/Porta de Correr	11
Fig. 10 – Janela/Porta Oscilo-Batente	11
Fig. 11 – Janela Projetante	12
Fig. 12 – Janela Pivotante.....	12
Fig. 13 – Vidro Temperado.....	15
Fig. 14 – Tensões de tração e compressão no vidro temperado.....	15
Fig. 15 – Perfil de vidro laminado.....	16
Fig. 16 – Vidro laminado	16
Fig. 17 – Componentes do vidro duplo	17
Fig. 18 – Vidro duplo	17
Fig. 19 – Tipos de bordo do vidro.....	19
Fig. 20 – Tipos de fixação em gola	20
Fig. 21 – Vidro exterior colado, corte em perspetiva.....	21
Fig. 22 – Fixações mecânicas mais frequentemente usadas	21
Fig. 23 – Vidro exterior agrafado, corte em perspetiva.....	22
Fig. 24 – Etiqueta Energética de Janelas	24
Fig. 25 – Resistência térmica superficial exterior e interior do elemento.....	30
Fig. 26 – Valores máximos do coeficiente de transmissão térmica, segundo a Portaria 138-I/2021	31
Fig. 27 – Zonas climáticas de inverno I1, I2 e I3.....	32
Fig. 28 – Zonas climáticas de inverno V1, V2 e V3	32
Fig. 29 – Fator solar máximo admissível de um vão envidraçado (vidro + proteção)	33
Fig. 30 – Fator solar dos vãos envidraçados com proteção interior e exterior	34
Fig. 31 – Classes de inércia térmica	35

Fig. 32 – Orientações com incidência do sol diretamente	41
Fig. 33 – Zonas de incidência do sol no vidro	41
Fig. 34 – Zonas de diferenças de temperatura no vidro	42
Fig. 35 – Valores do coeficiente de sensibilidade do vidro ao choque térmico	44
Fig. 36 – Valores de tensão de trabalho do vidro	44
Fig. 37 – Valores do coeficiente k_t	44
Fig. 38 – Parâmetros de ensaio da estanquidade à água e respetivas classes	48
Fig. 39 – Níveis de qualidade do coeficiente de transmissão térmica	54
Fig. 40 – Desempenho térmico de janelas da marca Kommerling	54
Fig. 41 – Coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados com caixilharia metálica sem corte térmico	55
Fig. 42 – Coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados com caixilharia metálica com corte térmico	56
Fig. 43 – Valores de isolamento aos sons aéreos de vidros da Saint-Gobain	58
Fig. 44 – Distribuição de valores de índice de isolamento sonoro dos vidros da figura 44	59
Fig. 45 – Desempenho acústico de janelas da marca Kommerling	59
Fig. 46 – Níveis de qualidade da transmissão luminosa	60
Fig. 47 – Planta do piso 0 e do piso 1 do caso de estudo	70
Fig. 48 – Alçado principal	70
Fig. 49 – Alçado posterior	71
Fig. 50 – Distribuição dos vários vãos envidraçados pela moradia	72
Fig. 51 – Vão envidraçado de correr Ve1	72
Fig. 52 – Vão envidraçado de correr Ve4	73
Fig. 53 – Vão envidraçado de correr Ve6	73
Fig. 54 – Região da NUTS III de Miranda do Douro	74
Fig. 55 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento da região de Alto Trás-os-Montes	74
Fig. 56 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de arrefecimento da região de Alto Trás-os-Montes	75
Fig. 57 – Classificação da zona climática de inverno	75
Fig. 58 – Classificação da zona climática de verão	75
Fig. 59 – Regras de simplificação para determinação da classe de inércia térmica	76
Fig. 60 – Mapa topográfico da região de Miranda do Douro	77
Fig. 61 – Corte com cotas do projeto do caso de estudo	78
Fig. 62 – Vista pelo Google street view da localização do caso de estudo	78

Fig. 63 – Tipo de caixilho da solução base	80
Fig. 64 – Características técnicas do caixilho	80
Fig. 65 – Solução base para o vidro	81
Fig. 66 – Solução corrigida para o caixilho	84
Fig. 67 – Classe de permeabilidade ao ar, estanquidade á água e resistência ao vento do caixilho ...	84

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades físicas do vidro.....	13
Tabela 2 – Tipos de exigência	29
Tabela 3 – Alguns dos ensaios para sistemas de janelas	30
Tabela 4 – Índice mínimo de isolamento aos sons aéreos, em dB	36
Tabela 5 – Alguns valores de transmissão luminosa de vidros simples.....	38
Tabela 6 – Alguns valores de transmissão luminosa de vidros duplos	39
Tabela 7 – Transmissão luminosa de vidros do Manual do vidro da Saint Gobain.....	40
Tabela 8 – Valores de fluxo solar incidente e radiação solar difusa.....	43
Tabela 9 – Valores limite de temperatura do ar exterior e interior e amplitude diária	43
Tabela 10 – Classes de permeabilidade ao ar.....	47
Tabela 11 – Classes de estanquidade à água.....	49
Tabela 12 – Classes de resistência ao vento	49
Tabela 13 – Níveis de qualidade do coeficiente de transmissão térmica	56
Tabela 14 – Níveis de qualidade do fator solar.....	57
Tabela 15 – Níveis de qualidade do isolamento aos sons aéreos do vão envidraçado (em dB)	60
Tabela 16 – Níveis de qualidade da transmissão luminosa.....	61
Tabela 17 – Temperaturas no vidro interior e exterior nas várias zonas.....	64
Tabela 18 – Resultados para a estação de Inverno	64
Tabela 19 – Resultados para a estação de Verão.....	64
Tabela 20 – Classes de permeabilidade ao ar.....	65
Tabela 21 – Classes de estanquidade à água.....	66
Tabela 22 – Classes de resistência ao vento	66
Tabela 23 – Modelo de seleção exigencial	67
Tabela 24 – Resultados do modelo de seleção exigencial	68
Tabela 25 – Exigências mínimas a satisfazer.....	79
Tabela 26 – Classe de Permeabilidade ao ar do caso de estudo	82
Tabela 27 – Classe de Estanquidade à água do caso de estudo.....	82
Tabela 28 – Classe de Resistência ao vento do caso de estudo	82
Tabela 29 – Modelo de seleção exigencial para a solução base	83
Tabela 30 – Resultados do modelo de seleção exigencial para a solução base	83
Tabela 31 – Modelo de seleção exigencial para a solução corrigida	85

Tabela 32 – Resultados do modelo de seleção exigencial para a solução corrigida	85
---	----

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios
 SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
 RGEU – Regulamento Geral das Edificações Urbanas
 ITE – Informação Técnica de Edifícios
 NF DTU – Normes Françaises Document Technique Unifié
 NP – Norma Portuguesa
 VEC – Vidro Exterior Colado
 VEA – Vidro Exterior Agrafado
 EEE – Espaço Económico Europeu
 CIP – Controlo Interno de Produção
 ETICs – External Thermal Insulation Composite System
 NUTS – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
 GD – Número de graus-dia

E – Módulo de elasticidade [GPa]
 ν – Coeficiente de Poisson
 U – Coeficiente de transmissão térmica [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]
 TI – Transmissão luminosa [%]
 R_i – Resistência térmica de i [$(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$];
 $g_{\perp}$ - Fator solar
 I_t – Inércia térmica [kg/m^2]
 M_{si} – Massa superficial do elemento construtivo i [(kg/m^2)]
 R_i – Fator de redução de M_{si} [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$]
 S_i – Área da superfície interior do elemento i [m^2]
 A_p – Área útil de pavimento [m^2]
 R_w – Valor o índice de redução sonora [dB]
 $D_{n,w}$ - Diferença normalizada e ponderada [dB]
 L_n – Índice de ruído noturno [dB]
 L_{den} – Índice sonoro diurno-entardecer-noturno [dB]
 θ_{ai} – Temperatura do ar interior [$^\circ\text{C}$]
 θ_{aemax} – Temperatura do ar exterior máxima [$^\circ\text{C}$]

$\theta_{ae\ min}$ - Temperatura do ar exterior mínima [°C]

$\theta_{ae\ min\ corrigida}$ - Temperatura do ar exterior mínima corrigida [°C]

φ – Fluxo solar incidente [W/m²]

θ_{dif} – Radiação solar difusa [W/m²]

α_{1e} – Absorção energética do vidro interior [%]

α_{2e} – Absorção energética do vidro exterior [%]

h_i – Condutância superficial interior [W/m².°C]

h_e – Condutância superficial exterior [W/m².°C]

R_0 – Resistência térmica do vão [(m².°C)/W]

$R_1(\text{VER})$ – Resistência térmica do vidro para condições de verão [(m².°C)/W]

$R_1(\text{INV})$ – Resistência térmica do vidro para condições de inverno [(m².°C)/W]

h_t – Coeficiente de transmissão térmica do vidro [W/(m².°C)]

k_v – Coeficiente de sensibilidade do vidro ao choque térmico

k_a – Coeficiente dependente da inclinação do vidro e das suas condições de apoio

σ_{vm} – Tensão de trabalho do vidro [GPa]

k_t – Coeficiente dependente da posição da janela na fachada e da inércia térmica do caixilho

α – Coeficiente de dilatação térmica linear do vidro [°C⁻¹]

$\delta\theta$ – Diferença de temperatura [°C]

$\delta\theta_{adm}$ - Diferença de temperatura admissível [°C]

ΔP – Diferença de pressão de escoamento do caudal de infiltração [GPa]

Q – Caudal de infiltração [m³/s]

ΔP_{ref} – Valor de pressão de referência [GPa]

Q_{ref} – Capacidade de escoamento do caudal do caixilho [m³/s]

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A gradual preocupação com a sustentabilidade e a adaptação às novas exigências torna a seleção de vãos envidraçados um processo multifacetado, que engloba uma análise rigorosa das características técnicas, das normas em vigor e das necessidades específicas do edifício visado. Assim, a criação de um modelo de seleção exigencial de vãos envidraçados é cada vez mais pertinente à medida que o mercado oferece uma progressiva variedade significativa de soluções, em termos de materiais, desempenho térmico, acústico, conforto e segurança. Um modelo de seleção exigencial de vãos envidraçados contribui para a otimização dos recursos, assegurando a máxima performance dos envidraçados e o cumprimento das exigências legais, sem comprometer a segurança ou a durabilidade das mesmas.

1.2. OBJETIVOS

A presente dissertação tem por objetivos:

- A criação um modelo de seleção exigencial de vãos envidraçados, começando por uma revisão bibliográfica que apresenta ao leitor as características dos componentes de um vão envidraçado, a análise de documentos técnicos e leis das exigências relevantes e a fundamentação do modelo.
- A aplicação do modelo, providenciando ao leitor uma visão global sobre o funcionamento do mesmo e as suas possíveis limitações.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos a seguir sintetizados, feitos para dar resposta ao objetivo anteriormente definido.

No capítulo 2, procurou-se enquadrar o leitor sobre vãos envidraçados. O capítulo está estruturado de forma a abordar as principais tipologias de caixilharias disponíveis no mercado, as características dos vidros, os diferentes métodos de fixação dos vidros nos caixilhos e a certificação dos vãos envidraçados. Por conseguinte, detalha as características e vantagens de cada material utilizado (caixilharias de madeira, de alumínio, em PVC, ferro/aço), com ênfase na sua robustez e aplicabilidade em projetos com exigências de resistência elevadas. Apresenta os tipos de vidro utilizados em caixilhos, com uma análise detalhada das características e aplicações dos vidros temperados, laminados e duplos. Em seguida, o capítulo explora os sistemas de fixação de vidros em caixilhos, abordando três principais métodos: gola, colagem e fixação mecânica. Posteriormente, aborda a

certificação de vãos envidraçados, um aspeto essencial para garantir a qualidade e o desempenho das soluções adotadas.

O capítulo 3, aborda as exigências objeto de estudo, incluindo a regulamentação vigente, os documentos técnicos de apoio e a Norma Portuguesa, que servem como guia para a seleção de vãos envidraçados. Para cada uma das exigências, são apresentados cálculos e/ou análises de documentos que permitem oferecer um ponto de partida para a fundamentação do modelo.

No capítulo 4, é elaborado o modelo de seleção exigencial, com o objetivo de fornecer uma abordagem estruturada para avaliar as diferentes exigências que influenciam a escolha de vãos envidraçados em função do seu desempenho técnico e funcional. Assim, inicia com a classificação dos tipos de níveis a serem utilizados no modelo, em função da exigência em estudo. É analisado o coeficiente de transmissão térmica, considerando as suas implicações no conforto térmico e na eficiência energética dos edifícios; avalia os fatores solares, o isolamento acústico e a transmissão luminosa. A quantificação dos níveis de exigência 0 e 1 é abordada em seguida, tendo em conta os critérios específicos para cada exigência. A resistência ao choque térmico, por exemplo, é analisada em profundidade, com cálculos para determinar a viabilidade de uma solução. Outras exigências essenciais do modelo é a avaliação da permeabilidade ao ar, estanquidade à água e resistência ao vento, aspetos fundamentais para garantir a funcionalidade e a performance das caixilharias em diferentes condições climáticas. É apresentada a versão final do modelo, oferecendo uma visão clara e objetiva sobre o trabalho realizado nesta dissertação.

No capítulo 5, é realizada a aplicação prática do modelo de seleção exigencial desenvolvido no capítulo anterior, com o objetivo de demonstrar de que modo as exigências e parâmetros definidos podem ser utilizados na escolha de vãos envidraçados. Inicia-se com a apresentação do caso de estudo, que serve como base para a aplicação do modelo e análise das soluções. Segue-se a aplicação do modelo com a apresentação dos dados base necessários para a avaliação. Nesta sequência, são apresentados os resultados da aplicação do modelo para uma solução base, com uma análise detalhada do desempenho dos vãos envidraçados em relação aos parâmetros exigidos, ou seja, faz-se uma comparação com os níveis de exigência definidos, permitindo avaliar a sua conformidade. Um processo similar é realizado para a Solução corrigida.

2

CAIXILHARIAS

2.1. TIPOS DE CAIXILHARIAS

O vão envidraçado é um constituinte que preenche um vão, quer em portas ou janelas, sendo os seus principais objetivos o isolamento acústico e térmico, a proteção dos vãos às intempéries tais como vento e chuva e ainda a entrada de luz natural no edifício. Neste capítulo são abordados os tipos de caixilharia mais utilizados atualmente, sendo estes a madeira, o alumínio, o PVC e o ferro, e ainda os tipos de vidro existentes no mercado mais adequados para caixilharias, enfatizando as suas principais características e montagem em obra. Tem-se como objetivo a introdução aos tipos de materiais utilizados na construção de vãos envidraçados e as suas características, oferecendo um panorama sobre as diferentes possibilidades disponíveis para a tomada de decisões informadas a nível teórico e técnico em questões como design, construção e avaliação.

As características dos materiais da caixilharia têm impactos significativos nas propriedades da janela ou porta. A própria janela desempenha um papel crucial na determinação do desempenho energético geral do edifício. [1] Existem diversos materiais para constituir uma caixilharia, sendo os mais comuns: a madeira, o ferro/aço, o alumínio e o policloreto de vinilo (PVC). A diversidade dos materiais surge ao longo do tempo, devido ao esforço para melhorar as condições de conforto, beleza e sofisticação exigidas pela sociedade, ao longo do tempo [1], sendo exemplo de tais esforços as caixilharias compostas e o uso de materiais como os compósitos de madeira, fibras de vidro, PRFV (poliéster reforçado com fibra de vidro), poliuretano, entre outros. Ao selecionar os produtos, é necessário considerar o impacto dos materiais constituintes no ambiente, para além dos fatores de seleção tradicionais, ou seja, o custo, a disponibilidade e a aparência.

2.1.1. MADEIRA

A madeira possui mais complexidade quanto ao seu uso em relação a outros materiais na fabricação de caixilharias, requerendo, assim, conhecimentos técnicos aprofundados. As dificuldades de extração, o preço para a aquisição da matéria-prima, o tratamento e a maneira sofisticada do seu fabrico implicam a necessidade de entender a variação dentro da própria espécie e as propriedades que influenciam as várias aplicações. [2] A madeira é o material de construção tradicional. A utilização da madeira como material de construção é um fator ecológico. Todavia, no primeiro quartel do século XX assistiu-se a uma progressiva redução da sua utilização em decorrência do surgimento de outros materiais. [3] Contudo, determinados fatores, como a estética e o tradicionalismo inerente à caixilharia de madeira, concomitantemente determinadas falhas e dificuldades dos outros perfis, contribuíram para o regresso

a uma maior utilização deste tipo de caixilharia. Para além disso, o desenvolvimento das tecnologias do seu uso possibilitou que se estabelecessem características mecânicas, com idênticas garantias comparativamente a outros materiais, ao nível da fabricação de caixilharias. Assim, surgiram os segmentos de caixilharia de madeira de boa qualidade e eficientes para a supressão dos problemas que lhe estavam associados [2]. A Figura 1 ilustra um exemplo de caixilharia de madeira.



Figura 1. - Caixilharia de madeira [4]

A madeira, tradicionalmente usada na fabricação de caixilharias, tem vindo a ser progressivamente substituída pelo alumínio em muitos projetos de construção, principalmente devido às vantagens em termos de durabilidade, manutenção e desempenho térmico e energético. No entanto, a madeira ainda é apreciada por sua estética e caráter natural, o que faz com que seja uma opção preferida em alguns contextos.

Mais recentemente, a madeira tem vindo a ser substituída pelo PVC, o que se deve quer ao seu custo mais elevado, em comparação com os seus concorrentes diretos, ao longo da sua utilização e manutenção, aumentando, deste modo, os custos de manutenção. É de referir ainda que a degradação da madeira é um fator difícil controlar, uma vez que a sua origem assenta em fenómenos “físicos, químicos, mecânicos ou biológicos, podendo ocorrer de maneira isolada ou pela ação simultânea de todos ou alguns destes. Os principais agentes de degradação da madeira são a luz solar, a água, o vento e o clima, que possuem importante papel na degradação, seja esta de natureza física, química, mecânica ou biológica” [5].

2.1.2. ALUMÍNIO

O alumínio é um dos elementos mais abundantes na natureza. Asif e Kubie [1] referem que o alumínio constitui mais de 8% da crosta terrestre. Na natureza, o alumínio só se encontra em combinação com o silício e o oxigénio e, frequentemente, com ferro em rocha ou argila, denominada de bauxite. A produção de alumínio primário (a partir do minério) pode ser dividida em quatro fases principais: extração de bauxite em bruto, refinação, fundição primária e acabamento de metais. O alumínio metálico é produzido a partir da alumina através do processo Hall-Heroult, comumente designado por fundição. As características do alumínio que fizeram aumentar a sua utilização nas caixilharias são: a qualidade inerente, a durabilidade, a leveza, a elevada resistência mecânica, o progresso contínuo ao nível da sua transformação, a facilidade de transporte e colocação, tratar-se de um material com

progresso tecnológico no que respeita ao sistema de acabamento que possibilita a facilidade de conservação do material, não sendo necessário fazer-se a raspagem e pinturas periódicas, bem como é imune à ação das intempéries e/ou de outros agentes naturais hostis [5]. De acordo com o mesmo autor, a caixilharia de alumínio, por apresentar qualidade estética, resistência, durabilidade, multiplicidade de cores e disponibilidade de diversos acabamentos, formas e usos, passou a ser uma das mais significativas aplicações na construção civil. [3], [5] Apresenta-se um exemplo de caixilharia de alumínio (Figura 2).



Figura 2. - Caixilharia de alumínio [6]

As janelas/portas de alumínio são caixilhos mais finos que permitem a entrada da maior quantidade de luz solar em casa. São muito elegantes, o que as torna perfeitas para os edifícios contemporâneos. Os caixilhos de alumínio são normalmente utilizados em envidraçados estruturais numa variedade de projetos comerciais devido à sua resistência. A resistência permite que o caixilho da janela seja muito mais fino com uma superfície de vidro maior, possibilitando aumentar os níveis de luz numa divisão. O alumínio é conhecido como um condutor natural de calor, o que permite que o calor passe facilmente. Os caixilhos de alumínio contêm uma barreira térmica que ajuda a reduzir a perda de calor. Nos últimos dez anos, a tecnologia de barreira térmica melhorou drasticamente e um caixilho de alumínio tem o mesmo desempenho que um de PVC. Os caixilhos de alumínio também requerem muito pouca manutenção e são altamente resistentes às intempéries. Ao contrário de alguns outros metais, o alumínio não corrói. [3]

Como referido anteriormente, a substituição da madeira por alumínio nas caixilharias é uma tendência crescente, especialmente em áreas onde a durabilidade, a eficiência energética e a baixa manutenção são essenciais. O alumínio oferece muitas vantagens nesses aspetos. Por outro lado, a madeira continua a ser uma excelente escolha para quem procura uma estética natural, sustentabilidade e a criação de um ambiente acolhedor e clássico. Portanto, a decisão entre madeira e alumínio nas caixilharias deve ter em consideração o custo e a estética, bem como os aspetos de desempenho térmico e acústico, manutenção e a durabilidade do material em relação ao clima local e às necessidades do projeto do edifício.

2.1.3. PVC

O policloreto de vinilo é um dos materiais sintéticos mais comuns, vulgarmente conhecido como PVC. É composto por cloro, carbono e hidrogénio. A resina de PVC tem quase 51/57% de cloro, tal como

referido por Berge. [7] O resto é hidrogénio e carbono, ambos derivados de combustíveis fósseis, principalmente gás natural e petróleo. O PVC é normalmente produzido a partir de cloreto de sódio (sal) e gás natural ou petróleo. O cloro é produzido pela eletrólise da solução salina, enquanto o petróleo ou gás passa por um processo de cracking para produzir etileno. O dicloreto de etileno é produzido pela reação de etileno e cloro, que depois é submetido a outro processo de cracking para produzir cloreto de vinilo monómero. O cloreto de vinilo, normalmente designado por VCM (cloreto de vinilo monómero), é um gás à temperatura e pressão normais. O subproduto da conversão de EDC (dicloreto de etileno) em cloreto de vinilo é o ácido clorídrico. Este é então polimerizado, ou seja, as moléculas unem-se para produzir uma lama que é centrifugada e seca para obter cloreto de polivinilo sob a forma de um pó branco. [7] Decorrente das suas propriedades, significativa aplicabilidade do material e notável relação custo/benefício, o uso do PVC na caixilharia (Figura 3) levou a grandes avanços tecnológicos, com excelentes resultados, adquirindo, assim, progressiva relevância. [3]

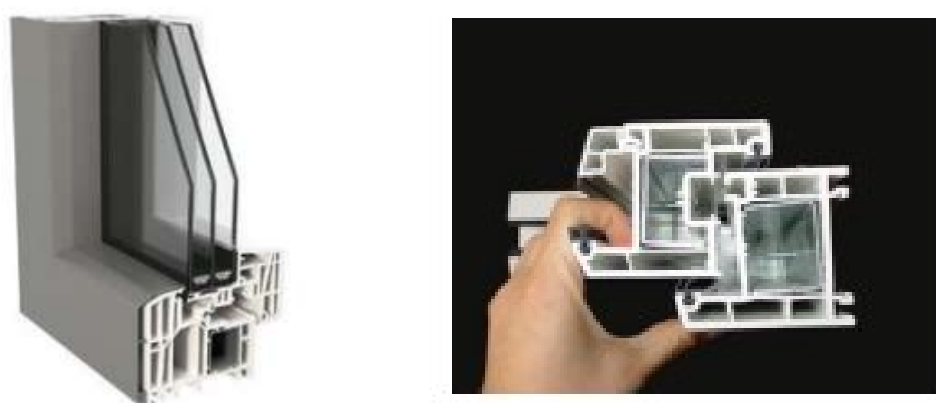


Figura 3. - Caixilharia composta por alumínio no exterior e PVC no interior [8]

A caixilharia de PVC assegura a estabilidade dimensional, apresenta resistência à humidade e à degradação, dispensando a manutenção periódica mais pesada. Este material assegura uma estabilidade dimensional superior, o que significa que as janelas e portas mantêm suas formas e funções ao longo do tempo, mesmo com a variação de temperatura e humidade. Ao contrário de materiais como a madeira, que podem dilatar ou contrair dependendo das condições ambientais, o PVC mantém sua integridade estrutural, garantindo maior longevidade às caixilharias. O PVC apresenta excelente resistência à humidade, o que é essencial para ambientes sujeitos a condições climáticas mais severas, como regiões de grande humidade ou chuvas constantes. Este tipo de caixilharia não é afetado pela degradação que materiais como a madeira sofrem com a exposição à água, como o aparecimento de fungos, bolores ou o apodrecimento. Essa resistência à água torna o PVC uma escolha ideal para áreas costeiras, regiões chuvosas.

Como destaca Barbosa [5], as janelas de PVC são não apenas adequadas, mas excelentes para quaisquer condições climáticas, incluindo as mais extremas, como altas temperaturas no verão e frio intenso no inverno. O PVC é altamente eficaz em manter a temperatura interna estável, agindo como um isolante térmico natural. Isso se traduz em menor necessidade de aquecimento no inverno e refrigeração no verão, contribuindo para a eficiência energética do edifício e a redução de custos com energia.

A resistência mecânica do PVC, embora frequentemente associado à leveza, não compromete a segurança ou a estabilidade das caixilharias. De facto, os perfis de PVC utilizados nas caixilharias modernas são projetados para oferecer grande resistência e estabilidade estrutural, sendo capazes de suportar forças externas como impactos ou ventos fortes, o que torna as janelas de PVC adequadas,

independentemente da localização ou exigências específicas de segurança. Outro benefício importante das caixilharias de PVC é a baixa necessidade de manutenção. Ao contrário de outros materiais, como a madeira, que requerem pintura ou tratamento periódico para preservar as suas características, o PVC não necessita de cuidados constantes. O material é resistente a riscos, manchas e descoloração, o que contribui para a manutenção de sua aparência ao longo do tempo, sem que seja necessário investir em reparações frequentes.

Em síntese, a caixilharia de PVC é uma solução eficaz, durável e económica para qualquer tipo de construção, especialmente quando se consideram condições climáticas adversas. A sua resistência à humidade, à degradação e à variação térmica, aliada à sua estabilidade e baixo custo de manutenção, faz com que seja uma das opções mais vantajosas no mercado para quem procura qualidade e desempenho a longo prazo.

2.1.4. AÇO/INOX

As caixilharias de ferro/aço são as mais frequentemente utilizadas em edifícios residenciais, públicos e industriais. As portas e janelas representam a parte mais exposta dos edifícios. Por esta razão, devem ser resistentes aos agentes atmosféricos, incluindo a água e o sal, e devem garantir um ciclo de vida duradouro para evitar intervenções repetidas nas estruturas. É também importante que contribuam para a estética do edifício em que se inserem, realçando a harmonia da arquitetura.

Para que este conjunto de características possa coexistir, é necessário escolher um material que apresente uma série inigualável de vantagens combinadas com desvantagens praticamente inexistentes. Flexível e resistente, o aço inoxidável molda-se de acordo com as necessidades técnicas e estruturais do local onde é utilizado e colocado, sem afetar de forma invasiva o estilo esperado. Graças à sua grande experiência na produção de caixilhos para portas e janelas, há quem prefira o aço, que possui todas as características fundamentais para a realização de uma janela destinada a viver durante muito tempo. A Figura 4 ilustra um exemplo de caixilharia em aço.



Figura 4. - Caixilharia composta aço [9]

Os requisitos que tornam o aço inoxidável tão especial e todas as vantagens que ele traz aos caixilhos de aço para janelas são: versatilidade, propriedades de autorreparação, resistência a altas e baixas

temperaturas, trabalhabilidade, baixa permeabilidade magnética, reciclabilidade e estética. Por sua vez, um problema muito frequente na caixilharia de ferro/aço é a corrosão interna dos produtos por oxidação, em decorrência da baixa qualidade, falta no acabamento superficial ou, inclusive, a ausência de pintura em todas as partes da caixilharia. [3] A caixilharia de aço é, assim, uma opção robusta e resistente para a construção de janelas, amplamente utilizada em diversos tipos de edifícios, sobretudo em contextos onde a segurança e a durabilidade são prioridades. O aço oferece várias vantagens, todavia, também apresenta alguns desafios em termos de custo e manutenção, que têm de ser considerados no momento de escolha do material.

Em síntese, as caixilharias de aço/inox são uma opção quando se procura resistência, segurança e durabilidade. Não obstante a possuírem algumas limitações, como a condutividade térmica e o peso, as suas desvantagens podem ser amenizadas com a escolha de vidros adequados e tratamentos de acabamento apropriados. Quando comparadas com outras opções, as caixilharias em aço destacam-se pela sua longa vida útil, estabilidade e baixa necessidade de manutenção, tornando-se uma escolha estratégica.

2.1.5. VEDANTES

Os vedantes desempenham um papel essencial nas caixilharias, sendo responsáveis pela estanquidade da mesma, devendo ser aplicados nas juntas móveis e nas juntas fixas. A Figura 5 mostra a localização dos vedantes na caixilharia.



Figura 5. - Localização de vedantes [10]

Existem vários tipos de vedantes no que se refere à sua composição. Nas juntas fixas, os vedantes podem ser constituídos por mástique de silicone, mástique de acrílico, borracha, betume; nas juntas móveis, os mais utilizados são mástique de silicone, fitas de escovas, borracha e mástique acrílico. A borracha mais usada tem sido a borracha sintética EPDM (polímero sintético constituído por Etileno, Propileno, Dieno e Monómero), porque revela boa resistência à ação da intempérie e a altas e baixas temperaturas, envelhecimento e à luz solar, boa elasticidade, bom poder isolante e é resistente à dismorfose por compressão. Por norma, os vedantes são fabricados em forma de perfil e montados por processos de colagem ou encaixe. [10] A Figura 6 mostra os tipos de vedantes mais correntemente utilizados nas caixilharias.



Figura 6. - Exemplos de alguns tipos de perfis de borracha [10]

2.1.6. ACESSÓRIOS

No que diz respeito aos acessórios das caixilharias, podem ser considerados os componentes: dobradiças, puxadores, fechos, fechaduras, pivôs, braços de reversão, roldanas, roletes, calços e cunhas, que possibilitam a fixação e/ou o movimento dos vários componentes da caixilharia, permitindo a abertura e o fecho da parte móvel da mesma de forma segura e eficaz. A maioria das anomalias que ocorrem nas caixilharias resultam da má opção destes acessórios ou da imperfeita compatibilização dos acessórios com a própria caixilharia, isto é, o bom funcionamento de uma caixilharia está dependente, na maioria dos casos, destes acessórios, que podem ser fabricados em aço inox, latão, alumínio extrudido, nylon, bem como em materiais lacados ou zincados, designadamente o alumínio fundido. [10]

2.2. INÉRCIA TÉRMICA DOS CAIXILHOS

A inércia térmica consiste numa propriedade física dos materiais que descreve a capacidade de um objeto ou de uma estrutura de armazenar e libertar calor ao longo do tempo. Está diretamente relacionada com a capacidade de conduzir e armazenar energia térmica e, consequentemente, a resistência de um material à variação de temperatura. No âmbito da caixilharia, a inércia térmica é um fator importante para o desempenho energético dos edifícios, porque influencia diretamente o conforto térmico, a eficiência energética e o comportamento térmico do edifício. [11]

O conceito de inércia térmica do caixilho exprime a velocidade com que ocorre modificação da sua temperatura, ou seja, quanto mais forte for a inércia térmica menor é a velocidade de alteração da temperatura no caixilho. [11] As três classes de inércia térmica, no âmbito do presente trabalho, são a

inércia térmica fraca, a inércia térmica média e a inércia térmica forte. As golas de inércia térmica fraca compreendem os perfis isolantes (madeira e PVC), os perfis ligeiramente condutores (aço e alumínio com ou sem corte térmico) e os sistemas VEC (vidros exteriores colados). Refere-se ainda que a temperatura na gola do vidro é afetada quer pelo tipo de material do caixilho, da pequena massa dos perfis, da sua condutibilidade térmica, quer pela variação de temperatura do elemento de enquadramento do vão no qual o caixilho é posto. [11] A questão da inércia térmica do caixilho influencia seriamente a temperatura do vidro na zona do bordo (zona onde há contacto entre o vidro e o caixilho), tratando-se, assim, de uma variável essencial para o dimensionamento térmico do vidro [12], abordado neste trabalho. Os caixilhos mais utilizados em Portugal são os de alumínio com ou sem rutura térmica, de madeira e de PVC, sendo os mesmos caixilhos de inércia térmica fraca. [12]

2.3. MODO DE ABERTURA DAS CAIXILHARIAS

O modo de abertura de janelas em caixilharia é um fator importante ao nível da funcionalidade e da estética de um edifício. Existem diversos tipos de aberturas, cada uma adequada a diferentes necessidades e preferências. Entre as mais comuns, destacam-se:

Guilhotina-Basculante: um tipo de janela que possui um movimento vertical, onde a parte superior ou inferior do vidro se desloca para cima ou para baixo. Construída tendo por base as tradicionais janelas de madeira. As guilhotinas de alumínio funcionam com molas helicoidais facilitadoras de movimentos de abertura da janela e garantem a necessária para este tipo de sistema. Possui a possibilidade de bascular, facilitando a limpeza, através de compassos laterais (Figura 7).



Figura 7. - Janela Guilhotina-Basculante [13]

Batente: janela de abertura tradicional e abre-se mediante a rotação de um manípulo, sendo um dos modelos mais versáteis e utilizados, sobretudo em construções modernas. Esse tipo oferece boa vedação e é fácil de operar. Pode ser de uma ou duas folhas, com a abertura no interior. Prima pela simplicidade de construção, robustez e facilidade de limpeza dos vidros (Figura 8).



Figura 8. - Janela/Porta Batente [13]

Abertura de correr: Nesse sistema, as folhas (duas ou mais) da janela deslizam horizontalmente sobre guias inferiores, possibilitando uma abertura mais suave e sem ocupar espaço adicional. É ideal para locais onde o espaço é restrito. Estas janelas de correr permitem regular a ventilação do ambiente (Figura 9).



Figura 9. Janela/Porta de Correr [13]

Abertura oscilo-batente: consiste num mecanismo que combina, com a simples rotação de um manípulo, dois tipos de abertura na mesma janela, ou seja, combina as funcionalidades da janela de batente com a capacidade de inclinar a folha em um ângulo específico, permitindo a ventilação sem abrir completamente. Na posição oscilante, o mecanismo interior da janela possibilita uma abertura basculante. A folha fica bloqueada na parte inferior e abre-se pela parte superior. A abertura, controlada por um braço que a limita, pode ser regulada de forma a permitir uma ótima circulação de ar. Este sistema é muito usado em ambientes que necessitam de controle de ventilação e de segurança (Figura 10).



Figura 10. Janela/Porta Oscilo-Batente [13]

Projetante: Possui abertura na parte de baixo para o exterior, girando sobre as dobradiças suspensas em compassos situados na parte superior, tendo como vantagem não necessitar de espaço no interior (Figura 11).

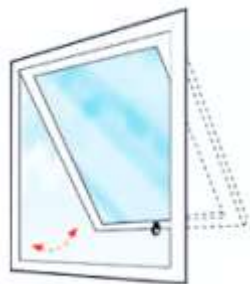


Figura 11. Janela Projetante [13]

Pivotante: Abre-se ao girar sobre articulações especiais dispostas no centro dos montantes laterais, um movimento que pode ser realizado com o eixo de rotação vertical e horizontal. A rotação total da folha móvel possibilita facilidade de limpeza do vidro exterior (Figura 12).

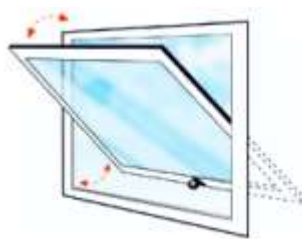


Figura 12. Janela Pivotante [13]

Cada tipo de abertura tem as suas vantagens e desvantagens e a escolha depende do tipo de ambiente, da segurança desejada, da eficiência energética e da estética.

2.4. PROPRIEDADES FÍSICAS DO VIDRO

As principais propriedades físicas do vidro corrente encontram-se sumariadas na Tabela 1. [12]

Tabela 1. – Propriedades físicas do vidro

Propriedades	Valor Característico
Resistência à Compressão	Muito elevada, da ordem dos 1000 MPa (N/mm ²).
Resistência à Flexão	Da ordem dos 40 MPa (N/mm ²) para um vidro <i>float</i> com recozimento e 120 a 200 MPa (N/mm ²) para um vidro temperado, dependendo da espessura, do acabamento das arestas e do tipo de manufatura. Um vidro submetido à flexão fica com uma face em compressão e outra em extensão.
Resistência à Tração	Varia de 30 a 70 MPa (N/mm ²) e depende da duração da carga, da humidade, da temperatura e do estado da superfície.
Elasticidade	O vidro é um material perfeitamente elástico, nunca apresentando deformações permanentes. No entanto é um material frágil, pois uma vez submetido a uma flexão constante parte sem aviso (sem apresentar indícios).
Módulo de Elasticidade, E	Também conhecido por módulo de Young, exprime a força de tração que seria necessário aplicar a um provete de vidro para lhe produzir um alongamento igual ao seu comprimento inicial [7]. Exprime-se em força por unidade de superfície e toma o valor de 72 GPa [21]. (As normas europeias, o DTU 39 e o Manual do Vidro da <i>Saint-Gobain Glass</i> apontam para um valor de E igual a 70 GPa. No entanto, tendo sido encontrado um valor ligeiramente superior no ITE 52 (72 GPa) optou-se por este último, dado tratar-se de uma publicação recente, portuguesa, e que conduz a uma maior segurança nos cálculos.
Coefficiente de Poisson, ν	Também conhecido por coeficiente de contração lateral, é a relação entre a contração transversal unitária (retração da secção) e o alongamento unitário (na direção do esforço) de um provete de vidro submetido a um esforço de tração. Representa a retração da secção que se verifica quando um provete é alongado por acção de uma tensão mecânica. Para vidros de construção toma o valor 0,2.
Resistência à abrasão	É a resistência ao desgaste da superfície. O vidro tem uma resistência à abrasão cerca de 16 vezes superior à do granito.
Dureza	É uma propriedade que expressa a resistência do vidro a deformações permanentes. Pode ser quantificada pela escala de <i>Mohs</i> , que avalia a capacidade de um material riscar o outro. O vidro tem a dureza de 6,5 na escala de <i>Mohs</i> , entre a Ortose e o Quartzo.
Densidade	Toma o valor 2,5, o que significa uma massa de 2,5kg/m ² de superfície e por milímetro de espessura para os vidros planos. A massa volúmica, expressa no sistema de unidades oficial é de 2500 Kg/m ³ .

São vários os fatores a controlar na escolha de um vidro num projeto e a especificação da solução apropriada do tipo envidraçado a usar define o sucesso do projeto. Tendo em conta que a indústria vidreira está em constante mudança, são lançados novos tipos de vidro sistematicamente, para se tentar superar a performance dos existentes. [14]

2.5. TIPOS DE VIDRO UTILIZADOS EM CAIXILHOS

2.5.1. VIDRO TEMPERADO

O vidro temperado (Figura 13) é o resultado do processo da têmpera. De acordo com a Norma EN 12150, a tensão de rotura deste é de 125 MPa, com resistência a diferenças de temperatura de 200 °C. Numa comparação com o vidro simples, ou seja, o vidro base, o vidro temperado proporciona mais resistência mecânica. Outra característica deste tipo de vidro consiste em ser um material que apresenta mais segurança, pois, quando partido, os seus fragmentos apresentam menor dimensão e não são cortantes. [15], [16]

São dois os tipos de vidros temperados, nomeadamente: os temperados termicamente e os temperados quimicamente. Os primeiros, por larga margem, são os mais habituais na construção. O processo de transformação do vidro float em vidro temperado termicamente consiste na sua submissão a uma temperatura crítica (aproximadamente 600 a 650°C) seguido de um arrefecimento brusco com jatos de ar, resultando num estado de compressão na zona superficial do vidro, enquanto o núcleo do vidro é sujeito a um estado de tensão. As tensões de compressão na zona superficial do vidro fazem aumentar a resistência do vidro às tensões de origem térmica e mecânica. [14] Por conseguinte, o vidro temperado é cerca de quatro a cinco vezes mais forte em comparação com um vidro recozido monolítico de idêntica espessura, e quando quebra, os seus estilhaços serão muito pequenos e, por conseguinte, com menor possibilidade de resultar em lesões, o que o leva a considerar um vidro de segurança. O vidro temperado não pode ser cortado ou perfurado depois do arrefecimento e qualquer tratamento, como o jateamento, a gravação a ácido ou o polimento das bordas, podem originar a quebra do vidro. Este tipo de vidro está sujeito à fratura espontânea, como tal, é necessário um teste de qualidade rigoroso, como o tratamento térmico Heat Soak, que consiste num ciclo de submissões do vidro a altas temperaturas. [14]

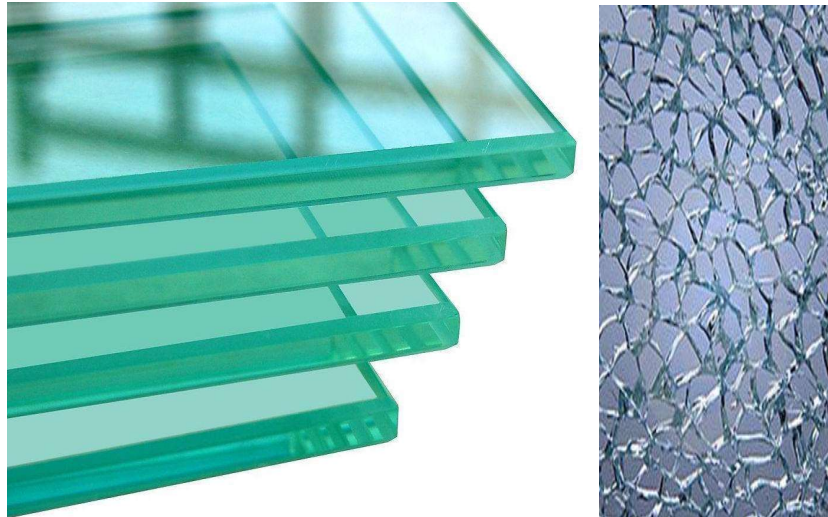


Figura 13. - Vidro Temperado [17]

Em síntese, o vidro temperado termicamente decorre da realização de um tratamento térmico a um vidro base. Trata-se de um processo destinado a ampliar a sua resistência mecânica e a alterar a fragmentação em situação de rotura. Este processo introduz tensões de compressão (cerca de 90 MPa) na zona superficial do vidro (cerca de 20 % da sua espessura). A zona central do vidro (restantes 60%) fica sujeita a tensões de tração (Figura 14). As tensões de compressão na zona superficial do vidro ampliam a resistência do vidro às tensões de origem térmica e mecânica.

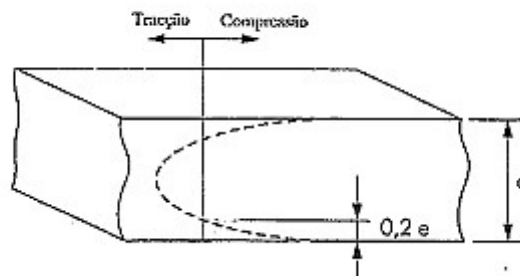


Figura 14. - Tensões de tração e compressão no vidro temperado

2.5.2. VIDRO LAMINADO

O vidro laminado compõe-se de duas ou mais folhas de vidro (Figura 15), que se interligam através de uma camada de PVB, resina ou gel, pelo calor ou pressão. Este é um vidro que apresenta maior segurança devido à sua resistência após a sua quebra, com a capacidade de os seus fragmentos se conservar colados na camada de ligação, impedindo a queda de estilhaços, ou seja, em caso de quebra, os fragmentos ficam colados ao intercalar, garantindo uma proteção residual antes da substituição do vidro.

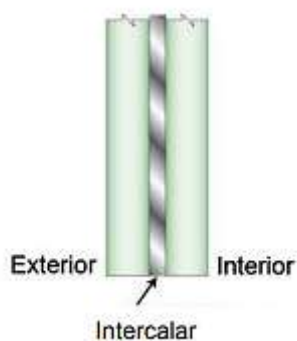


Figura 15. - Perfil de vidro laminado

O vidro laminado (Figura 16) tem diversas funções, nomeadamente: garantir a segurança contra incêndios, armas de fogo, arrombamento entre outras adversidades. Por norma, na construção civil a sua aplicação é feita em cabines de duche, janelas, coberturas, pavimentos, fachadas, entre outros. [15], [16]



Figura 16. - Vidro laminado [17]

2.5.3. VIDRO DUPLO

O vidro duplo ou vidro isolante possui, pelo menos, duas chapas de vidro (temperado, laminado, refletido ou impresso) desagregadas por um espaço de ar (ou outro gás) selado, revelando-se um excelente isolamento térmico. O vidro duplo é formado por dois componentes que encerram entre si ar seco ou um gás com propriedades de isolante térmico (Figura 17). Os dois painéis encontram-se separados por um caixilho intercalar. (Figura 18) A estanquicidade periférica é assegurada por duas linhas de vedação para limitar a entrada de humidade. O desidratante, inserido no intercal, serve para absorver a humidade na câmara no momento do fabrico ou a humidade que se possa infiltrar por difusão, assegurando uma maior longevidade do vidro. [14]

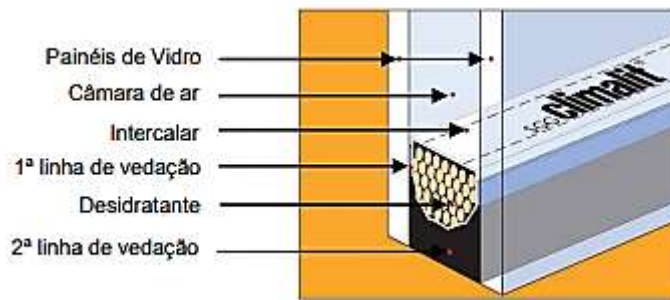


Figura 17. – Componentes do vidro duplo

Este tipo de vidro é aplicado, por norma, em janelas, fachadas, portas, coberturas, entre outros. No que se refere à selagem do espaço de ar, introduz-se um perfil de alumínio para definir a distância entre as chapas de vidro (regularmente de 8 e 20 mm de largura), formado por selagens (interiores e exteriores) para circunscrever a entrada de humidade e de vapor de água, sendo, assim, instalado um desidratante para absorção da humidade que poderá vir a infiltrar-se. O vidro duplo é orientado pela Norma NP EN 1279, a qual contém diversos fatores relacionados com o fabrico, durabilidade da selagem, com indicação na certificação. [15]



Figura 18. – Vidro duplo [17]

2.5.4. VIDRO REVESTIDO SUPERFICIALMENTE

O vidro revestido superficialmente consiste numa tecnologia referente à aplicação de camadas finas de materiais sobre a superfície do vidro para modificar as suas propriedades, como o isolamento térmico, a reflexão de luz, o controlo solar e a resistência à abrasão. Este tipo de vidro é amplamente usado na construção civil. O revestimento superficial pode ser realizado por diversos métodos, como *sputtering*, *coating* (revestimento) e laminação, dependendo do efeito desejado. Por norma, o revestimento

superficial é aplicado numa das superfícies e concede ao vidro uma melhoria em determinadas propriedades, como o fator solar, a transmissão de luz ou a cor. [18]

Nesta categoria existe uma variedade de vidros, sendo sobretudo dentro deste tipo de vidro que a inovação se fez notar mais nas últimas décadas. Este é obtido especialmente por deposição de determinados compostos, principalmente óxidos metálicos, sobre a superfície de um vidro monolítico recozido. O revestimento aplicado tem como objetivo modificar as propriedades base do vidro, designadamente o fator solar, g , a transmissão da luz, T_l , a cor e a emissividade. [14]

2.5.4.1. Vidro de controlo solar de alta refletividade

O vidro de controlo solar de alta refletividade é um tipo de vidro projetado para diminuir a transmissão de radiação solar através das fachadas dos edifícios, visando melhorar o conforto térmico e a eficiência energética. Esse tipo de vidro é particularmente útil em regiões onde há alta incidência de radiação solar e onde a redução do ganho de calor solar é uma prioridade. A característica mais marcante deste tipo de vidro é a sua alta capacidade de reflexão, que impede que uma grande quantidade de energia solar entre no edifício, ajudando a controlar a temperatura interna e reduzindo a necessidade de sistemas de climatização. [19] Por norma, este tipo de vidro apresenta alta refletividade o que possibilita uma redução do ganho do calor decorrente da reflexão e absorção. Caso a capa seja posicionada na superfície interior do edifício, o vidro exporá maior grau de absorção energética, A , situação prejudicial em termos de choque térmico. No entanto, possui o inconveniente da transmissão de luz visível, T_l , ser algo reduzida. Existem no mercado com grande variedade de cores de revestimento. [14]

2.5.4.2. Vidro baixo-emissivo ou Low-E

O vidro baixo-emissivo, igualmente conhecido pela sigla Low-E (do inglês Low Emissivity Glass), é um tipo de vidro com revestimento especial projetado para controlar a transferência de calor através das janelas e fachadas dos edifícios. Este revestimento, aplicado na superfície do vidro, é extremamente fino e transparente, sendo geralmente composto por uma camada de óxidos metálicos. Sua principal função é reduzir a quantidade de calor que passa através do vidro sem comprometer a transparência ou a luminosidade natural do ambiente. [19]

Este tipo de vidro é um dos mais populares e polifacetados materiais de construção atual, devido ao seu grande desenvolvimento na performance solar e térmica. Tal desenvolvimento advém, predominantemente, do aprimoramento da tecnologia do vidro baixo-emissivo. A habilidade com que um material irradia energia corresponde à emissividade. Os envidraçados, à semelhança de todos os materiais, irradiam calor para o exterior ou interior, dependendo da emissividade e da temperatura das suas superfícies. Num vidro simples, a emissividade é de aproximadamente 0,84, o que significa que o vidro absorve e transmite 84% da energia térmica sobre forma de radiação incidente no vidro. Um vidro de baixa emissividade tem uma emissividade que vai desde 0,35 até 0,04. [14]

O vidro baixo-emissivo relativamente neutro em aparência diminui os ganhos e as perdas de calor pela radiação infravermelha (energia térmica). O valor de U reduz, aumentando a eficiência energética. Por conseguinte, a redução da emissividade da superfície do vidro é uma notável maneira de otimizar o isolamento térmico do envidraçado. Atualmente, as tecnologias mais avançadas oferecem vidros baixo-emissivos com várias camadas, projetados para superior transmissão da luz visível (baixa reflexão) e notável diminuição das transferências de calor. A este tipo de vidros de alta performance dá-se o nome de vidros de espectro seletivo. [14]

2.5.5. TIPO DE BORDO

O tipo de bordo consiste numa característica relevante na fabricação de vidros para caixilharias, porque influencia diretamente a estética, a durabilidade, o desempenho térmico e a segurança do mesmo. Os bordos podem variar de acordo com a técnica de acabamento, o tipo de vidro usado e a função pretendida. [20]

Na fase final, os vidros de fabrico são cortados a diamante numa mesa. Depois deste processo, a superfície de corte é irregular e com pequenas fendas. A este tipo de bordo dá-se o nome de bordo em bruto. O tipo de bordo de um vidro é um parâmetro a considerar no dimensionamento térmico do vidro. A Figura 19 define vários tipos de acabamento de bordo polido. A lapidação de uma superfície implica apenas a retificação da mesma com o objetivo de a tornar lisa. O polimento de uma superfície para além de a tornar lisa, confere-lhe uma aparência espelhada.

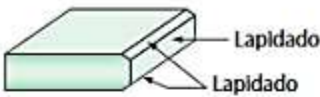
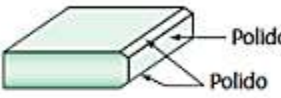
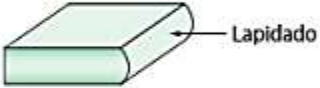
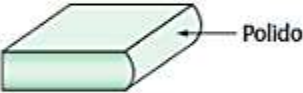
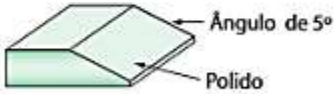
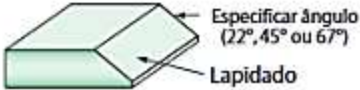
Acabamento	Esquema	Aplicação
Lapidado Reto		Vidro Exterior Colado com borda exposta
Polido Reto		Vidro Exterior Colado com acabamento diferenciado
Meia-Cana		Espelhos, Vidros, Decorativos para móveis
Meia-Cana Polida		Espelhos, Vidros, Decorativos para móveis
Bisel lapidado		Vidro Exterior Colado
Bisel polido		Espelhos, Vidros, Decorativos de móveis

Figura 19. – Tipos de bordo do vidro [14]

2.3. SISTEMAS DE FIXAÇÃO DE VIDROS EM CAIXILHOS

O progresso tecnológico tem promovido uma redução da dimensão dos sistemas de fixação, sendo atualmente possível dispensar o uso de caixilhos e criar fachadas totalmente transparentes, fomentando uma maior interação entre o espaço exterior e o interior. [15], [16]

2.6.1. GOLA

A fixação dos vidros é feita habitualmente em caixilhos que condicionam a temperatura do vidro que se encontra na zona da gola, que se refere à zona do vidro que está em contacto com o caixilho. Tendo em conta a exígua massa dos perfis de suporte de vidro e a sua condutibilidade térmica, a temperatura no interior da gola pode ser ainda afetada pela instabilidade da temperatura do elemento de enquadramento do vão, no qual o caixilho está instalado. [14] A Figura 18 apresenta os vários tipos de fixação em gola.

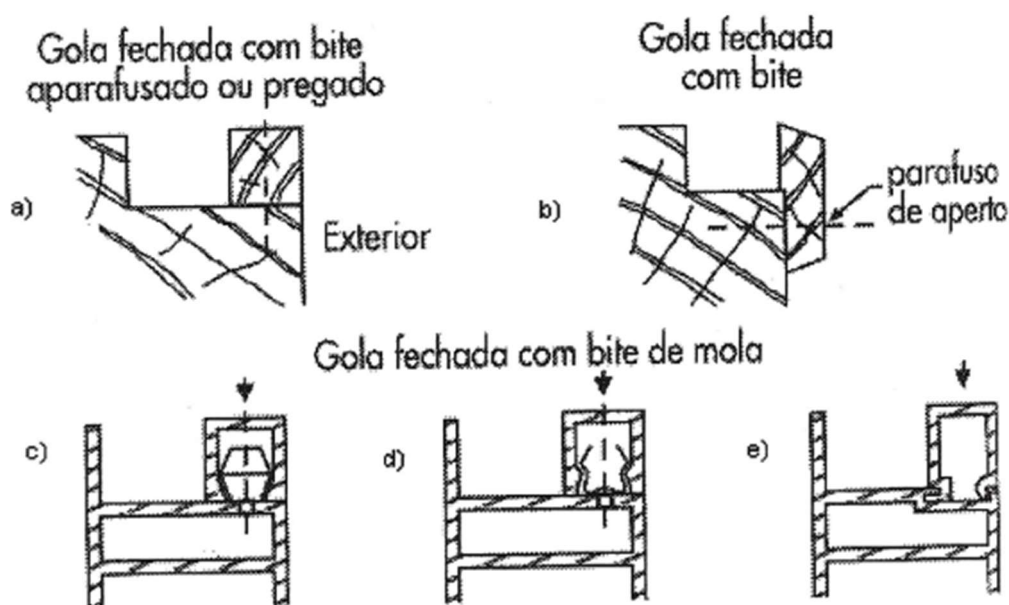


Figura 20. – Tipos de fixação em gola [21]

2.6.2. COLAGEM - VEC (VIDRO EXTERIOR COLADO)

O Vidro Exterior Colado (VEC) é uma técnica inovadora de fixação de vidros em fachadas e outros sistemas arquitetónicos, na qual o vidro é colado diretamente à estrutura de suporte, por norma, com uso de adesivos estruturais de alta resistência. Esta técnica suprime a necessidade de perfis metálicos ou outros dispositivos de fixação visíveis. [22] Trata-se de uma tecnologia que possibilita, através da dissimulação da caixilharia, alcançar uma fachada que evidencia a presença do vidro. O vidro está solidarizado ao denominado mástique “estrutural”, que funciona como elemento de transferência de tensões para um aro de suporte, o qual é fixado, depois, a uma estrutura portante já preparada. Assim, é efetuada uma superfície exterior sem perfis de caixilho à vista, como ilustra a Figura 21. [14]



Figura 21. - Vidro exterior colado, corte em perspectiva

2.6.3. FIXAÇÃO MECÂNICA

A fixação mecânica é a mais usada na construção civil, pelas várias soluções emergentes, assinaladas pelo projetista através de catálogos, de acordo com a funcionalidade desejada em obra. (Figura 22) Normalmente, encontra-se o material em aço inoxidável, por apresentar elevada resistência e leveza, mas também existe a fixação em alumínio. A fixação mecânica é aplicada em paredes verticais ou inclinadas, concebidas em vidro plano e retangular. As fixações mecânicas podem subdividir-se em dois grupos: [15]



Figura 22. - Fixações mecânicas mais frequentemente usadas [15]

2.6.3.1. Vidro Exterior Agrafado (VEA)

O Vidro Exterior Agrafado (VEA) é uma técnica usada na instalação de vidros, especialmente em edifícios de grande porte ou em soluções arquitetônicas que requerem a fixação segura de vidros grandes e espessos. Este sistema de fixação é altamente usado em fachadas de vidro e estruturas de vidro curvado, onde a estética e a segurança são prioritárias. [23] A técnica proporciona uma aparência limpa e minimalista, ou seja, este sistema possibilita realizar paredes em vidro sem caixilho. O vidro é suportado pontualmente, exponenciando a entrada de luz natural (Figura 23). Os sistemas de

montagem resumem-se a duas peças essenciais: os grampos e as rótulas. É possível neste sistema a montagem de vidro duplo com caixa de ar. [14]



Figura 23. - Vidro exterior agrafado, corte em perspectiva

2.7. CERTIFICAÇÃO DE CAIXILHARIAS

A certificação de caixilhos consiste num processo que garante que os materiais e os sistemas de caixilharia atendem aos padrões específicos de qualidade, segurança, desempenho e eficiência energética. Tais padrões podem variar em função da região e dos requisitos locais. A certificação assegura que os caixilhos sejam adequados para suportar as condições climáticas e operacionais, bem como para garantir resistência térmica e isolamento aos sons aéreos.

2.7.1. MARCAÇÃO CE

Existem normas harmonizadas para a certificação de caixilhos, desenvolvidas por uma Comissão Europeia. Essas normas apresentam a verificação dos requisitos estabelecidos pelas diretivas em matéria de segurança, saúde e proteção ambiental. Desde julho de 2013 a marcação CE passou a ser obrigatória para todos os fabricantes de janelas e portas no Espaço Económico Europeu (EEE).

A marcação CE para portas e janelas garante que o desempenho do produto foi avaliado e que cumpre as características de desempenho definidas na Norma portuguesa (NP EN 14351-1: 2008 + A1: 2011), também conhecida por “Norma de Produto” para janelas e portas exteriores. O fabricante tem a responsabilidade de realizar os ensaios em Organismos Certificados e pedir a marcação, tendo de apresentar: a Realização de Ensaio Tipo Iniciais (ETI) do produto elaborado por Organismo Notificado, com certificado do resultado; documentação comprovativa de um sistema de Controlo Interno de Produção (CIP), correspondente ao controlo em fábrica do processo da produção; Declaração de Desempenho do produto, onde o fabricante declara a sua possibilidade de fazer a aposição da marcação CE e atesta a validade da Etiqueta CE; Etiqueta da Marcação CE, com as características que a definem. [24]

2.7.2. CLASSE+

A certificação energética é um sistema implementado, em Portugal, para avaliar a eficiência energética dos edifícios, um sistema gerido pela Agência para a Energia (ADENE) e faz parte de uma iniciativa mais vasta da União Europeia para promover a sustentabilidade e a eficiência energética. O certificado energético faculta uma classificação baseada numa escala de A (muito eficiente) a F (pouco eficiente), tendo em consideração diversos aspetos, com destaque para: o isolamento térmico, os sistemas de aquecimento e de arrefecimento, os tipos de janelas e vidros instalados, o ano de construção, entre outros. A avaliação da eficiência energética é efetuada por Peritos Qualificados, que analisam as suas características e recomendam um conjunto de medidas para melhorar o seu desempenho energético. A certificação energética dos caixilhos envolve a implementação de diversas estratégias e soluções que visam reduzir o consumo de energia e aumentar a eficiência energética. A título exemplificativo, a janelas A+ são uma das soluções mais eficazes para melhorar a eficiência energética de um edifício. Estas janelas, feitas de PVC ou alumínio com corte térmico, são projetadas para oferecer um excelente isolamento térmico e resistência acústica, sendo comum a aplicação de Normas como a ISO 10077 ou a EN 14351 (para janelas de uso geral) e da Norma ISO 717-, que trata das medidas exigenciais de isolamento aos sons aéreos para sistemas de caixilharia. Para a certificação da durabilidade e resistência dos caixilhos perante os efeitos de intempéries, como chuva, vento e exposição solar, bem como à resistência a corrosão e desgaste, salientam-se as Normas EN 1026 e EN 12046. A Figura 24 mostra um exemplo de uma etiqueta de certificação Classe+ utilizada num caixilho.



Figura 24. - Etiqueta Energética de Janelas [25]

2.8. SÍNTESE DO CAPÍTULO 2

O material mais usado no fabrico de caixilharias é o alumínio e o PVC, mas outros materiais como madeira e aço também podem ser utilizados. Embora menos empregues, são igualmente produzidos sistemas de caixilharia mista, por norma, para otimizar o isolamento térmico ou a capacidade resistente, bem como por motivos estéticos, sendo exemplos o alumínio e a madeira, o alumínio e o PVC e o PVC e a madeira. Geralmente, as caixilharias são formadas por aros fixos e móveis, vedantes, dobradiças, puxadores e ferragens. Estas apresentam várias tipologias de movimento das folhas, geralmente adaptadas aos dois principais tipos de mecanismos de abertura, o sistema de batente e sistema de correr. Podem ser feitos de diferentes materiais, cada um com as suas características mais ou menos vantajosas. O mercado de vãos envidraçados está em constante evolução, procurando-se novas soluções. É importante referir que um vão envidraçado mal escolhido pode tornar um ambiente escuro, sem controlo de iluminação, ruidoso e sem conforto, ou seja, demasiado quente ou demasiado

frio. O primeiro passo para escolher os vãos envidraçados é conhecer as características, vantagens e desvantagens dos materiais utilizados no seu fabrico. [26]

3

EXIGÊNCIAS

3.1. ORGANIZAÇÃO DO CAPÍTULO

O capítulo 3 fornece uma fundamentação teórica e normativa baseada em documentos técnicos de apoio e regulamentos estabelecendo uma base para a criação de um método exigencial de vãos envidraçados. A evolução do capítulo faz-se com a definição do método exigencial, seguida da tipologia e classificação das exigências em estudo, em conformidade com a informação bibliográfica. Cada exigência será devidamente analisada e detalhada, com base na bibliografia que a define, mostrando os métodos de cálculo e quantificação de cada parâmetro necessário. Por fim, são apresentados os valores base, sendo eles os mínimos/máximos regulamentares para as exigências legais e valores de referência para as exigências funcionais. Esta informação é de grande importância pois permite criar uma base fundamentada para a criação de um modelo exigencial de seleção de vãos envidraçados.

3.2. MÉTODO EXIGENCIAL

O método exigencial é uma ferramenta que permite a ligação entre o desempenho e qualidade dos materiais, que fazem parte do componente em estudo (neste caso, o vidro e o caixilho), com o objetivo final pretendido. É um instrumento que define as exigências, sejam elas legais ou funcionais, cujos produtos têm de satisfazer para que se consiga cumprir o desempenho pretendido.

O método exigencial tem ganho importância devido ao crescente número de soluções possíveis disponíveis no mercado que tornam o processo de escolha mais complicado, sendo necessário compatibilizar o desempenho, que é requerido pelo cliente ou pelo projeto, à solução em estudo.

Os vãos envidraçados, à semelhança de outros elementos construtivos, têm de obedecer a métodos exigenciais, ou seja, satisfazer as exigências legais e funcionais para os quais foram projetados. Existem diversas exigências funcionais ou de desempenho, consideradas como requisitos que possibilitam avaliar qualitativa ou quantitativamente o comportamento dos vãos envidraçados em fase de aplicação.

De modo geral, tem de se garantir segurança, habitabilidade, durabilidade, conforto e funcionalidade, bem como obedecer os critérios da norma que esteja em vigor. Os vãos envidraçados são produtos abrangidos pela Diretiva dos Produtos da Construção, cuja marcação CE é de carácter obrigatório, ou seja, é indispensável o cumprimento das normas harmonizadas que suportam a marcação.

3.3. TIPOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS

Uma exigência é um requisito ou condição que deve ser verificado para se obter um resultado específico e satisfatório, cumprindo uma determinada função. Neste caso, trata-se de um critério que deve ser verificado para garantir que um certo componente é adequado e eficaz. Existem vários tipos de exigências, tais como: funcionais, legais/regulamentares, estéticas, ambientais, económicas, etc.

Para efeitos de desenvolvimento deste trabalho, serão estudadas apenas as exigências legais e funcionais, tendo em conta que:

- A qualificação estética é um fator não considerado neste trabalho;
- As exigências ambientais encontram-se sempre cumpridas nos vãos envidraçados testados neste trabalho, uma vez que se trata de vãos envidraçados certificados por normas Europeias, que são obrigados a cumprir esses critérios;
- As exigências económicas não foram contabilizadas nesta fase do processo, uma vez que estão relacionadas ao custo e orçamento de cada projeto e não com o desenvolvimento do vão envidraçado.

3.3.1. EXIGÊNCIAS LEGAIS E FUNCIONAIS

Conforme mencionado anteriormente, o foco deste trabalho são as exigências legais e funcionais.

As exigências legais são baseadas em normas, leis e regulamentos emitidos por entidades reguladoras/autoridades governamentais, sendo assim obrigatoriamente cumpridas.

As exigências funcionais são requisitos que têm como objetivo o bom funcionamento do componente a dimensionar, baseando-se em critérios técnicos, sendo definidas a pedido do cliente ou pela equipa de projeto.

3.3.2. EXIGÊNCIAS OBJETO DE ESTUDO

Na Tabela 2 encontram-se todas as exigências objeto de estudo, bem como a sua classificação como legal ou funcional. Apresentam-se também os regulamentos/documentos de apoio onde se verificam os requisitos de cada uma.

Tabela 2 - Tipos de exigência

Exigência	Tipo de exigência	Regulamento/Documento de apoio
Coeficiente de transmissão térmica	Legal	SCE, RGEU
Fator solar	Legal	Portaria 138-I
Isolamento aos sons aéreos	Legal	RRAE
Transmissão luminosa	Funcional	-
Resistência ao choque térmico	Funcional	DTU 39
Permeabilidade ao ar	Funcional	ITE 51
Estanquidade à água	Funcional	ITE 51
Resistência às ações do vento	Funcional	ITE 51

3.3.2.1. Regulamentação

As normas internacionais, obrigatórias para as caixilharias, encontram-se abrangidas nas normas harmonizadas europeias. No que respeita à legislação nacional aplicável aos vãos exteriores tem de se ter em consideração certas especificações constantes nas seguintes normas:

- Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU, 1951), que institui normas qualitativas (artigos n.º 72º e n.º 73º); [27]
- SCE -Portaria 138-I – Despacho 6476-H de 2021; [28]
- Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE, 2008) que estabelece os critérios ao nível do desempenho acústico; [29]

3.3.2.2. Documentos técnicos de apoio

- ITE50 – Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios; [30]
- ITE51 - Componentes de edifícios, na seleção da caixilharia e o seu dimensionamento mecânico; [31]
- ITE 52 – Componentes de edifícios, incluídos nos fatores de segurança e resistência mecânica do vidro; [11]
- ITE 56 – Janelas e portas pedonais exteriores, como consta do Guia para a marcação CE; [11]
- NF DTU39 – Building Works: Glazing and mirror glass works.

3.3.2.3. Norma Portuguesa

A norma portuguesa NP EN 14351-1:2008 + A1: 2011, [32] também designada de “Norma do Produto” para janelas exteriores, define as características obrigatórias de desempenho destes sistemas

de vãos envidraçados independentemente do material que as constituem. A Tabela 3 apresenta algumas das características obrigatórias para cumprimento dos requisitos essenciais.

Tabela 3 - Alguns dos ensaios para sistemas de janelas [33] - [38]

Exigência	Norma de ensaio/cálculo
Resistência às ações do vento	EN 12211
Estanquidade à água	EN 1027
Permeabilidade ao ar	EN 1026
Resistência mecânica dos dispositivos de segurança	EN 14609
Isolamento térmico	EN ISO 12567-1 (ensaio) EN 10077-1 (cálculo)
Proteção contra o ruído	EN ISO 140-3 (ensaio) NP EN 14351-1+A1 (cálculo)

3.4. AVALIAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS LEGAIS

3.4.1. COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA

O coeficiente de transmissão térmica (U) contabiliza a quantidade de calor que atravessa perpendicularmente um elemento quando este separa ambientes de temperaturas diferentes. É medido em $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ traduzindo a potência térmica que passa por $1m^2$ de superfície do elemento por 1 grau Celsius. Trata-se de um dos parâmetros mais importantes na avaliação da transferência de calor pela envolvente de um edifício tendo grande impacto no seu desempenho energético. O coeficiente é calculado através da expressão 1:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad [W/(m^2 \cdot ^\circ C)] \quad (1)$$

Onde:

- R_j - Resistência térmica da camada j, $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$;
- R_{si} - Resistência térmica interior, $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$;
- R_{se} - Resistência térmica exterior, $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$.

A diferença de temperaturas de um lado para o outro do elemento a estudar faz com que haja uma transferência de calor no sentido da temperatura mais alta para a mais baixa. Cada camada do elemento construtivo oferece uma resistência térmica que, quanto maior for esta, menor é o valor de U. Existem ainda duas camadas de ar microscópicas no junto à face do elemento exterior e interior que oferecem também uma resistência Tabelada no ITE50 do LNEC, como mostra a Figura 25.

Sentido do Fluxo de calor		Resistência Térmica [(m ² .° C)/W]	
		Exterior R _{se}	Interior ou face exterior em contacto com ENU R _{si}
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente		0,17

Figura 25. – Resistência térmica superficial exterior e interior do elemento ITE50

Os valores para a resistência térmica de cada tipo de material também se encontram nas publicações do LNEC, nomeadamente no ITE50.

No inverno temos a temperatura mais alta dentro do edifício e a mais baixa no exterior, no verão temos o contrário. Desta maneira, quanto maior for o valor de U, maior será a transferência de calor e menor será a capacidade do edifício manter a temperatura desejada pelo utilizador, tendo um impacto direto e negativo no uso de energia dos equipamentos usados para manter essa temperatura.

O coeficiente de transmissão térmica é um parâmetro com mínimos legais a cumprir conforme estabelecido na Portaria 138-I/2021 mediante a sua localização a nível de zona climática (I1, I2 ou I3), a nível de zona geográfica (Portugal continental, Açores, Madeira) e ainda pelo tipo de utilização dos edifícios (habitação, comércio e serviços). Neste documento são estabelecidos os valores máximos que este parâmetro pode atingir [39]. (Figura 26)

	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Portugal Continental:			
Edifícios de habitação	2,80	2,40	2,20
Edifícios de comércio e serviços	3,30	3,30	3,30
Região Autónoma da Madeira:			
Edifícios de habitação	2,80	2,40	2,20
Edifícios de comércio e serviços	3,30	3,30	3,30
Região Autónoma dos Açores:			
Edifícios de habitação	2,90	2,60	2,40
Edifícios de comércio e serviços	3,30	3,30	3,30

Figura 26. – Valores máximos do coeficiente de transmissão térmica, segundo a Portaria 138-I/2021 [39]

3.4.1.1. Zona climática

O coeficiente de transmissão térmica é dependente da zona climática em que se insere cada edifício. Portugal encontra-se dividido por zonas climáticas de verão V1, V2 e V3, e por zonas climáticas de inverno I1, I2, I3, de acordo com o Manual SCE [40], sendo a divisão feita conforme mostra a Figura 27 e a Figura 28, respetivamente.

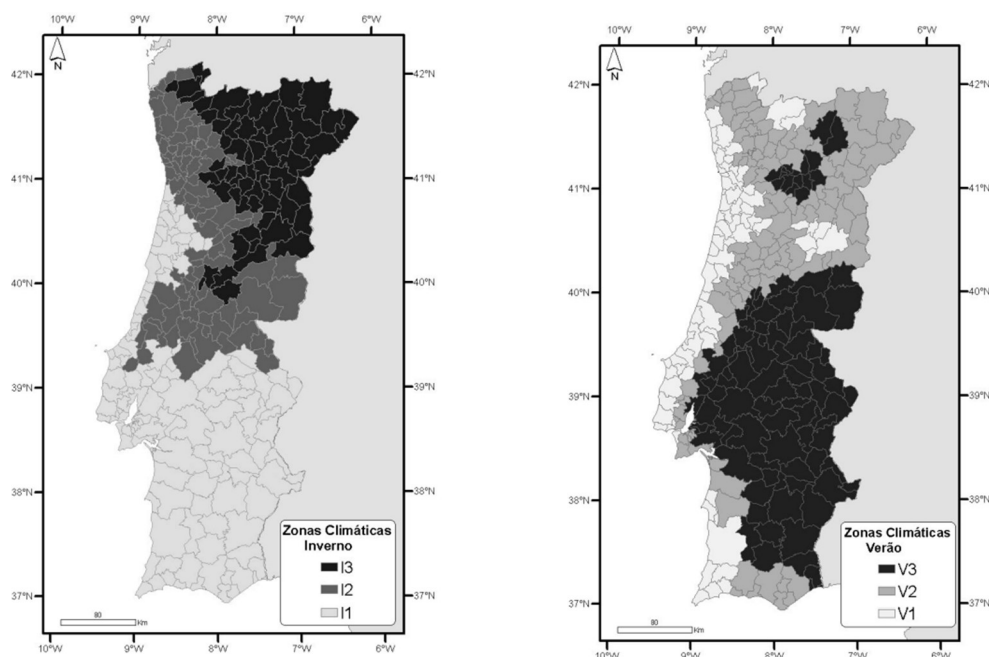


Figura 27. e 28. – Zonas climáticas de inverno I1, I2 e I3 e zonas climáticas de verão V1, V2 e V3, respetivamente.

3.4.2. FATOR SOLAR

A quantidade de radiação solar que pode passar através de uma janela pode ser medida através do seu fator solar. As classificações são utilizadas para ajudar a quantificar a eficiência energética das janelas. As especificidades das classificações dos fatores solares são também muito importantes para o conforto térmico, procurando-se maximizar a insolação dos vãos nos períodos frios e minimizá-la nos períodos quentes.

O fator solar ($g_{\perp}$) é um parâmetro relativo à parte envidraçada de um vão envidraçado, com ou sem proteção (interior ou exterior), e consiste na percentagem de energia que entra num local em relação à energia solar que incide sobre esse vão. Os ganhos solares desejados para conforto do utilizador no verão (estação de arrefecimento) e no inverno (estação de aquecimento) são, naturalmente, diferentes uma vez que no verão, devido à incidência solar ser mais elevada, é necessário proteger o interior do edifício do aquecimento provocado por essa incidência enquanto, no inverno, é necessário aproveitar ao máximo os ganhos solares de forma a aquecer o espaço interior ou, pelo menos, manter a temperatura para se conseguirem passar os períodos mais frios (como a noite) reduzindo a carga térmica nos sistemas de climatização, melhorando a eficiência energética e o conforto do utilizador.

É uma propriedade calculada pelo fabricante e presente nas fichas técnicas do vidro, sendo determinado pelas propriedades óticas e térmicas do material, tais como:

- Transmitância solar: Fração de radiação solar incidente que é transmitida pelo vidro;
- Reflexão solar: Fração de radiação solar que é refletida pelo vidro;
- Absorção solar: Fração de radiação solar que é absorvida pelo vidro e convertida em calor.

O fator solar é expresso por valores entre 0 e 1 onde o valor 0 significa que não há passagem de radiação solar e o valor 1 significa a passagem de toda a radiação solar.

Na Portaria 138-I de 2021 [39] podemos encontrar os valores máximos admissíveis tabelados para os ganhos solares de vãos envidraçados com condição fronteira exterior. (Figura 29)

Tipo de edifício	Inércia do espaço	Zona Climática		
		V1	V2	V3
Edifícios de habitação	Fraca	0,15	0,10	0,10
	Média ou forte	0,56	0,56	0,50
Edifícios de comércio e serviços	Fraca, média ou forte	0,56	0,56	0,50

Figura 29. – Fator solar máximo admissível de um vão envidraçado (vidro + proteção)

Os fatores que influenciam os ganhos solares são:

- Tipo de vidro;
- Tipo de dispositivos de proteção solar;
- Frações de tempo em que se encontram ativados os dispositivos de proteção solar (dependente da estação em que se encontra);
- Fator de obstrução, maioritariamente influenciado pela geometria de insolação;
- Inércia térmica.

Dispositivo de proteção solar	Opaca	$g_{tot,vc}$					
		Vidro simples $g_{,vl} = 0,85$			Vidro duplo $g_{,vl} = 0,75$		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Dispositivos de proteção exteriores							
Estore veneziano de lâminas de madeira	Não	0,11	0,11	0,11	0,08	0,08	0,08
Estore veneziano de lâminas metálicas	Não	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09	0,09
Lona muito transparente	Não	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,20
Lona opaca	Não	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
Lona pouco transparente	Não	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
Persiana de réguas de madeira	Sim	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
Persiana de réguas metálicas ou plásticas	Sim	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
Portada de lâminas fixas	Não	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09	0,09
Portada de lâminas reguláveis	Sim	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
Portada opaca	Sim	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
Dispositivos de proteção interiores							
Cortina ligeiramente transparente	Não	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
Cortina muito transparente	Não	0,70	-	-	0,63	-	-
Cortina opaca	Sim	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
Cortina transparente	Não	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
Estore de lâminas	Não	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
Persiana	Sim	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
Portada de lâminas fixas	Não	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
Portada de lâminas reguláveis	Sim	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
Portada opaca	Sim	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
Proteção entre dois vidros: estore veneziano, lâminas delgadas	Não	-	-	-	0,28	0,34	0,40

Figura 30. – Fator solar dos vãos envidraçados com proteção interior e exterior [41]

A Figura 30 apresenta valores para vãos envidraçados, constituídos por vidros incolores, com proteção interior e exterior, dando uma ideia da ordem de grandeza dos valores para o fator solar nos vários tipos de soluções.

3.4.2.1. Inércia térmica

Os fatores solares são dependentes da inércia térmica de cada divisão de cada edifício. A inércia térmica representa a capacidade térmica de armazenamento que os locais apresentam, sendo dependente da massa superficial útil por unidade de área útil interior de pavimento. O cálculo da inércia térmica faz-se através da seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} \times r_i \times S_i}{A_p} \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad (2)$$

Em que:

- M_{si} - Massa superficial útil do elemento construtivo i (kg/m²);
- r_i - Fator de redução de M_{si} (depende da resistência térmica do elemento de revestimento R (m². °C/W));
- S_i - Área da superfície interior do elemento i (m²);
- A_p - Área útil de pavimento (m²).

Do qual o resultado nos daria a classificação segundo a Figura 31.

Classe de Inércia Térmica	I_t [kg/m ²]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t < 400$

Figura 31. – Classes de inércia térmica [42]

3.4.3. ISOLAMENTO AOS SONS AÉREOS

A insonorização é o processo de impedir ou reduzir a transmissão do som de um espaço para outro, utilizando materiais de construção, projetos arquitetônicos ou produtos especializados. É um conceito vital na criação de conforto nos edifícios, para que as pessoas possam viver, trabalhar e desfrutar confortavelmente de atividades sem serem perturbadas por ruídos indesejados ou incomodarem os outros. A importância do isolamento dos sons reside nos inúmeros benefícios que proporciona, incluindo o aumento da privacidade, a redução do ruído, a melhoria dos níveis de concentração e produtividade e o bem-estar geral. De modo geral, “os sons aéreos que interessam ao conforto nos edifícios podem enquadrar-se em dois grandes grupos: sons de proveniência exterior e sons interiores” (Patrício, Acústica de Edifícios, 2008). Por conseguinte, o isolamento a sons aéreos tem de ser feito pelos elementos de compartimentação exteriores e interiores, o que implica a utilização da metodologia de medição in situ do isolamento sonoro a sons de condução aérea, que se subdividem, para estas duas situações, na medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachada ao nível dos sons exteriores; na medição do isolamento sonoro de sons aéreos entre compartimentos para sons interiores.

A regulamentação em vigor para o isolamento aos sons aéreos é o documento denominado Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), estabelecendo valores mínimos para os vários tipos de edifícios.

O parâmetro utilizado neste documento para definir o isolamento aos sons aéreos é a diferença normalizada e ponderada, $D_{n,w}$ (dB), que se relaciona com o R_w pela expressão 3. De modo geral, “os sons aéreos que interessam ao conforto nos edifícios podem enquadrar-se em dois grandes grupos: sons de proveniência exterior e sons interiores”. [44] Por conseguinte, o isolamento a sons aéreos tem de ser feito pelos elementos de compartimentação exteriores e interiores, o que implica a utilização da

metodologia de medição *in situ* do isolamento sonoro a sons de condução aérea, que se subdividem, para estas duas situações, na medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachada ao nível dos sons exteriores; na medição do isolamento sonoro de sons aéreos entre compartimentos para sons interiores.

A regulamentação em vigor para o isolamento aos sons aéreos é o documento denominado Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), aprovado pelo Decreto-Lei 129/2002 de 11 de maio, [43] estabelecendo valores mínimos para os vários tipos de edifícios.

O parâmetro utilizado para definir o isolamento aos sons aéreos é a diferença normalizada e ponderada, $D_{n,w}$ (dB), que se relaciona com o R_w pela expressão:

$$D_{n,w} = R'_w + 10 \log \left(\frac{A_0}{S_s} \right) \quad (3)$$

Em que:

- A_0 corresponde à área de absorção sonora de referência, sendo que, em compartimentos de habitação, $A_0 = 10m^2$.

As zonas mistas são zonas urbanas que combinam as diferentes atividades tais como: habitação, comércio, indústria e prestação de serviços. Estas zonas têm como objetivo a potencialização da eficiência urbana, não sendo necessário percorrer grandes distâncias para se encontrar o que se procura, simplificando o acesso aos serviços. São zonas onde é necessário a elaboração de mapas de ruído (cartas de ruído) onde se possa analisar a distribuição dos níveis de ruído ambiente exterior. Já as zonas sensíveis são regiões cuja planeamento urbano define como de habitação, escolas, hospitais ou espaços de lazer onde não ocorra ruído durante o período noturno. Em concordância com o artigo 11º do Regulamento Geral do Ruído (RGR), o indicador de ruído noturno, L_n , e o indicador de índice diurno-entardecer-noturno, L_{den} , devem obedecer os seguintes limites de exposição máxima:

- Nas zonas sensíveis: $L_{den} \leq 55\text{dB(A)}$ e $L_n \leq 45\text{dB(A)}$ sendo que acresce um valor de 10dB(A) e 5dB(A) no caso de ser uma zona perto de uma grande infraestrutura de transporte ou haja um projeto para a sua execução e ainda no caso se tratar de um projeto para um aeroporto, os limites são aumentados em 10dB(A) .
- Nas zonas mistas: $L_{den} \leq 65\text{dB(A)}$ e $L_n \leq 55\text{dB(A)}$.

O RRAE preconiza que o valor do índice de isolamento sonoro entre o exterior e as zonas interiores de um edifício cuja principal atividade seja habitação, deve ser no mínimo de 28dB para edifícios em zonas sensíveis e de 33dB para edifícios em zonas mistas.

Tabela 4 – índice mínimo de isolamento aos sons aéreos, em dB

Tipo de zona	Índice mínimo de isolamento aos sons aéreos $D_{n,w}$ (dB)
Zona mista	33
Zona sensível	28

No caso da área translúcida do vão envidraçado ser superior a 60% da área da fachada, tem de ser adicionado ao índice de isolamento sonoro $D_{2m,n,T}$ o coeficiente C_{tr} .

No âmbito desta dissertação, pretende-se estudar o nível de isolamento acústico dos vãos envidraçados da envolvente que separam o interior do exterior. Por norma, o vidro do vão envidraçado é o elemento mais sensível da fachada quanto ao isolamento dos sons aéreos, devido a ser um elemento leve e de

descontinuidade na parede. Por essa razão, assume-se que os valores estipulados no RRAE para os elementos da envolvente, sejam os mínimos a cumprir pelos vãos envidraçados.

O isolamento acústico de um caixilho refere-se à capacidade de obstruir a entrada de ruídos exteriores para o interior, tendo como parâmetro de tal propriedade o “R”, um parâmetro medido em decibéis (dB) de enfraquecimento acústico. [45] Neste contexto, a escolha apropriada do vidro de um caixilho, para isolamento dos sons aéreos, depende sobretudo da espessura do vidro e da sua composição. A diminuição sonora liga-se diretamente à massa de vidro e ao uso de PVB acústico, o que pode otimizar também o desempenho de isolamento dos sons aéreos. Recomenda-se que, no caso de vidros duplos, sejam utilizados os vidros com espessuras distintas, com o objetivo de amenizar as frequências críticas de cada um.

3.5. AVALIAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS

3.5.1. TRANSMISSÃO LUMINOSA

A transmissão luminosa refere-se à quantidade de luz incidente que passa com sucesso através do vidro e é normalmente expressa como uma percentagem de luz que conseguiu atravessá-lo. Por outro lado, a transmitância refere-se à quantidade de luz que um material dispersa, resultando efetivamente num valor inverso do encontrado para a transmissão. Existem dois tipos básicos de transmissão - externa e interna - e ambos diferem da transmitância da luz: [46]

- A transmissão externa é calculada a partir da intensidade da luz incidente ao entrar no vidro versus a intensidade da luz após sair do vidro. Esta técnica de medição de transmissão fornece um valor preciso da quantidade real de luz que pode passar através de um material;
- A transmissão interna é determinada pela intensidade da luz depois de ter entrado no vidro versus a sua intensidade depois de sair do vidro. A transmissão interna avalia principalmente a capacidade de filtragem da luz do próprio vidro, permitindo-lhe ter uma ideia mais exata das propriedades do vidro.

A transmitância refere-se à quantidade de energia luminosa que o vidro absorve, dispersa ou reflete. É medida usando a fórmula $T = I/I_0$, com T denotando a intensidade da transmissão, I indicando a intensidade e I_0 indicando a intensidade no início. Este cálculo permite determinar a relação entre a potência radiante transmitida e a potência radiante incidente, dando uma ideia mais precisa da capacidade do vidro de bloquear os fotões. [46]

Em suma, a transmissão luminosa corresponde à percentagem da luz visível transmitida para o interior da habitação através do vidro. O vidro com maior valor de transmissão luminosa é mais transparente e possibilita maior entrada de luz e uma visão mais translúcida do exterior; o vidro com menor transmissão luminosa bloqueia parte da luz visível, gerando um ambiente com uma menor iluminação natural. O coeficiente de reflexão luminosa expressa a capacidade do vidro de refletir a parte visível da radiação incidente, ou seja, representa o comportamento de espelho de um vidro. Todos os vidros lisos são refletivos, embora seja possível aumentar a reflexão com tratamentos que consistem na aplicação de uma camada metalizada em uma das faces.

A transmissão luminosa é uma exigência funcional, não regendo por nenhuma norma. De forma a criar uma base sólida para a posterior conceção de um modelo de seleção exigencial, tem de se recorrer a valores de vidros simples e duplos para o parâmetro transmissão luminosa. Tal é feito através da Tabela 5 que descreve vários tipos de vidros e as suas principais características, mostrando também o valor da transmissão luminosa de cada um de forma a dar uma ideia clara das várias gamas de valores possíveis e da maneira como a composição dos vidros influencia a transmissão luminosa.

Tabela 5 – Alguns valores de transmissão luminosa de vidros simples [14]

Transmissão luminosa de vidro simples		
Nº	Vidro Monolítico Incolor	TI (%)
1	Recozido incolor - 6 mm	89
2	Recozido extra-claro - 6 mm	91
3	Recozido incolor - 10 mm	86
4	Recozido incolor extra-claro - 10mm	91
5	Recozido incolor - 15 mm	84
6	Temperado incolor - 6mm	89
7	Termo-Endurecido – 6 mm	89
Nº	Com capa exterior de Controlo Solar	TI (%)
1	Alta Refletividade A neutro - 6mm (Pos.2)	54
2	Alta Refletividade B incolor - 6mm (Pos.2)	32
3	Alta Refletividade B gris - 6mm (Pos.2)	15
4	Alta Refletividade B verde - 6mm (Pos.2)	26
5	Alta Refletividade C azul pastel - 6 mm (Pos.2)	14
6	Alta Refletividade C verde - 6mm (Pos.2)	12
7	Alta Refletividade C argent - 6mm (Pos.2)	20
8	Alta Refletividade D incolor - 6mm, capa exterior (Pos.1)	47
9	Alta Refletividade D incolor - 6mm, capa interior (Pos.2)	24
10	Alta Refletividade D havana - 6mm, capa exterior (Pos.1)	47
11	Alta Refletividade D havana - 6mm, capa interior (Pos.2)	24
Nº	Vidro Laminado	TI (%)
1	Proteção A 44.1 8mm	87
2	Proteção A 66,1 12 mm	85
3	Proteção B 33.2 7 mm	87
4	Proteção B 66.2 13 mm	85
5	Proteção B 15 mm	85
6	Proteção reforçada 22 mm	84
7	Corta-fogo 16 mm	83
8	Corta-fogo 23 mm	98
9	Anti-reflexo 66.2 13 mm	98

Nº	Outros Vidros	TI (%)
1	Impresso incolor - 6mm	87
2	Esmaltado translúcido, face interior - 6mm	49
3	Esmaltado translúcido, face exterior -6mm	49
4	Foscado a ácido, face interior, incolor -5mm	88
5	Foscado a Ácido, face exterior, gris -5mm	49
7	Serigrafado temperado branco 30 %, posição 1 - 6mm	70
8	Serigrafado temperado, branco 30 %, posição 2 - 6mm	70
9	Serigrafado temperado, preto 30 %, posição 1 - 6mm	62
10	Serigrafado temperado, preto 30 %, posição 2 - 6mm	62
11	Laminado de Cor - 9mm	47

A análise da Tabela 5 destaca a diferença significativa entre um vidro incolor e o vidro de proteção solar. Cumprindo o seu objetivo, o vidro de proteção solar baixa o valor da transmissão luminosa para menos de metade do valor de um vidro incolor. É possível analisar ainda a maneira como as espessuras do vidro afetam o valor da transmissão luminosa, exemplificando: um vidro monolítico recozido incolor de 6 milímetros tem um coeficiente de transmissão luminosa de 89% enquanto o mesmo vidro com 15mm tem apenas 84%. Note-se ainda que os vidros com capa exterior, com e sem cor, são vidros que cortam quase por completa a transmissão luminosa para o interior do edifício.

Tabela 6 – Alguns valores de transmissão luminosa de vidros duplos [14]

Transmissão luminosa de vidros duplos		
Nº	Recozido + Recozido	TI (%)
1	Incolor x 2 - 8(16)8 mm	77
2	Incolor x 2 - 6(16)6 mm	79
3	Incolor x 2 - 6(12)6 mm	79
4	Incolor x 2 - 4(15)5 mm	80
5	Incolor x 2 - 5(12)5 mm	80
Nº	Recozido + Recozido de Cor	TI (%)
1	Cor bronze + Incolor - 6(12)6 mm	44
2	Cor gris + Incolor - 6(12)6 mm	37
Nº	Capa de Alta Refletividade (Posição 1)	TI (%)
1	Alta Refletividade D neutro + Incolor - 6(12)6 mm	29
2	Alta Refletividade D gris + Incolor - 6(12)6 mm	13
3	Alta Refletividade D argent + Incolor - 6(12)6 mm	61
4	Alta Refletividade D havana + Incolor - 6(12)6 mm	22
Nº	Recozido + Vidro Alta Refletividade (Posição 2)	TI (%)

5	Alta Refletividade D neutro + Incolor - 6(12)6 mm	29
6	Alta Refletividade D gris + Incolor - 6(12)6 mm	13
7	Alta Refletividade D argent + Incolor - 6(12)6 mm	61
8	Alta Refletividade D havana + Incolor - 6(12)6 mm	22
9	Alta Refletividade C pastel + Incolor - 6(12)6 mm	18
10	Alta Refletividade C verde - 6(12)6 mm	11
Nº	Capa na Posição 3	TI (%)
1	Incolor + Baixo-Emissivo A - 4(12)4 mm	73
2	Incolor + Baixo-Emissivo A - 5(16)4 mm	72
3	Incolor + Baixo-Emissivo B - 4(16)4 mm	67
4	Incolor + Baixo-Emissivo B - 6(12)6 mm	67
5	Incolor + Baixo-Emissivo C - 6(12)6 mm	74
6	Incolor + Baixo-Emissivo E - 6(12)6 mm	75
Nº	Capa na Posição 3	TI (%)
1	Incolor + Baixo-Emissivo A - 4(12)4 mm	73
2	Incolor + Baixo-Emissivo A - 5(16)4 mm	72
3	Incolor + Baixo-Emissivo B - 4(16)4 mm	67
4	Incolor + Baixo-Emissivo B - 6(12)6 mm	67
5	Incolor + Baixo-Emissivo C - 6(12)6 mm	74
6	Incolor + Baixo-Emissivo E - 6(12)6 mm	75

Quanto aos vidros duplos, para o mesmo tipo de vidro, é normal o valor da transmissão luminosa ser mais baixo do que nos vidros simples devido à luz ter de passar por 2 “barreiras”. Todos os valores apontados têm por base o trabalho já realizado por Daniel Da Cruz Rocha. [14]

A Tabela 7 é baseada em valores do Manual do Vidro da Saint Gobain [40], apresentando os valores mínimos, médios e máximos (por ordem mínimo/médio/máximo) de transmissão luminosa de vidros duplos independentemente da sua composição a nível de espessuras e tipos de vidros interiores e exteriores, e a sua respetiva qualificação ao nível de proteção. Nesta podemos novamente notar a diferença entre um vidro de controlo solar (SGG Climalit Solar Control) e um vidro incolor (SGG Climat).

Tabela 7 – Transmissão luminosa de vidros do Manual do vidro da Saint Gobain [40]

Vidro duplo	Proteção	Transmissão luminosa (TI) em %
SGG Climat	-	77 / 79,7 / 81
SGG Climaplust	Isolamento térmico reforçado	67 / 72,7 / 80
SGG Climalit Acoustic/Silence	Isolamento acústico reforçado	66 / 75,6 / 80
SGG Climalit Solar Control	Vidro de controlo solar	6 / 31,8 / 69

3.5.2. RESISTÊNCIA AO CHOQUE TÉRMICO

A resistência ao choque térmico é uma exigência funcional característica do vidro, sendo causada por diferenças de temperatura nas várias zonas do vidro que levam a diferenças de tensões. Quando as tensões térmicas excedem a resistência do vidro. A avaliação do choque térmico serve para evitar a rotura.

Existem vários fatores que aumentam e potencializam a ocorrência do choque térmico, nomeadamente:

- Sombreamento parcial;
- Colocação de películas de cor em apenas parte do vidro;
- Existência de sistemas de aquecimento perto do vidro;
- Colocação do vidro num compartimento que não é ventilado interiormente. [47]

A rotura por choque térmico, segundo o ITE52, tem maior probabilidade de acontecer nas orientações a sombreado da Figura 32.

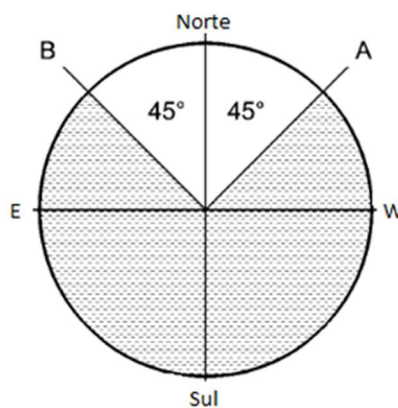


Figura 32. – Orientações com incidência do sol diretamente

Desta forma, vidros que se encontrem orientados a Norte não necessitam de avaliação da resistência ao choque térmico.

Para cálculo do choque térmico, é necessário definir as três zonas do vidro: (Figura 33)

- Zona 1: fração do vidro que se encontra inserido na gola, estando constantemente à sombra;
- Zona 2: fração do vidro que se encontra exposta ao sol;
- Zona 3: fração da zona central do vidro que se encontra à sombra.

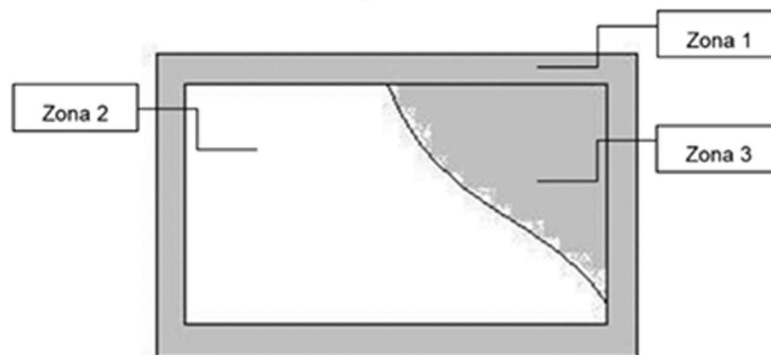


Figura 33. – Zonas de incidência do sol no vidro

O choque térmico tanto pode ocorrer no inverno como no verão, devido à transição da zona 1 para a 2 como da 2 para a 3 e ainda pode ocorrer tanto no vidro exterior como no interior, pelo que é necessário calcular as 8 diferenças de temperatura como mostra a Figura 34.



	(2-3)	(2-1)
Inverno - vidro exterior		
Inverno - vidro interior		
Verão - vidro exterior		
Verão - vidro interior		

Figura 34. – Zonas de diferenças de temperatura no vidro

3.5.2.1. Cálculo da resistência ao choque térmico

Para cálculo das diferenças de temperatura entre as várias zonas, e nas condições de inverno e verão, primeiro é preciso calcular a temperatura de cada uma das zonas do vidro. Para isso, são necessários os seguintes parâmetros:

- U_g – Coeficiente de transmissão térmica do vidro, em $W/m^2 \cdot ^\circ C$;
- θ_{ai} - Temperatura do ar interior do compartimento, considerado uma constante de $20^\circ C$ no inverno e $25^\circ C$ no verão;
- θ_{aemax} - Temperatura do ar exterior, dependente das zonas climáticas de verão onde o edifício se insere, obtida a partir da Tabela 2;
- θ_{aemin} - Temperatura do ar exterior, dependente das zonas climáticas de inverno onde o edifício se insere, obtida a partir da Tabela 2, em que para as zonas I1, I2 e I3, $\theta_{aemin\ corrigida} = (\theta_{aemin}) + 5$;
- φ - Fluxo solar incidente, dependente da orientação do vão em estudo, obtido da Tabela 8;
- θ_{dif} – Radiação solar difusa, obtida da Tabela 8;
- α_{1e} e α_{2e} - Absorções energéticas do vidro interior e exterior, em %, para condições de verão e condições de inverno, sendo os valores obtidos nas fichas técnicas do vidro;
- h_i – Condutância superficial interior, em $(W/m^2 \cdot ^\circ C)$, para condições de verão e de inverno, sendo constantes tais que: $h_i(INV) = h_i(VER) = 9 W/m^2 \cdot ^\circ C$;
- h_e – Condutância superficial exterior em $(W/m^2 \cdot ^\circ C)$, para condições de verão e de inverno, sendo constantes tais que: $h_e(INV) = 11 W/m^2 \cdot ^\circ C$ e $h_e(VER) = 13 W/m^2 \cdot ^\circ C$;
- R_0 – Resistência térmica do vão, em $m^2 \cdot ^\circ C/W$, obtido através da expressão 4.

$$R_0 = \frac{1}{U_g} - 0,17 [(m^2 \cdot ^\circ C)/W] \quad (4)$$

- $R_1(VER)$ e $R_1(INV)$ – Resistência térmica do vidro para condições de verão e inverno, respetivamente, em $m^2 \cdot ^\circ C/W$, obtidos através das expressões 5 e 6;

$$R_1(VER) = 0,78 \times R_0 [(m^2 \cdot ^\circ C)/W] \quad (5)$$

$$R_1(INV) = 0,92 \times R_0 [(m^2 \cdot ^\circ C)/W] \quad (6)$$

- h_t – Coeficiente de transmissão térmica do vidro, em $W/m^2 \cdot ^\circ C$, para condições de Verão e de Inverno, obtido através da expressão 7.

$$h_t = \frac{1}{R_1} [W/(m^2 \cdot ^\circ C)] \quad (7)$$

Tabela 8 – Valores de fluxo solar incidente e radiação solar difusa

Exposição	Inverno	Verão
NE	100	588
E	552	729
SE	837	576
S	881	401
SW	837	576
W	552	729
NW	100	588
Radiação difusa	88	73

Tabela 9 – Valores limite de temperatura do ar exterior e interior e amplitude diária

	Inverno	Verão	
	I1 e I2	I3	V1, V2 e V3
θ_{aemax}	10	0	45
θ_{aemin}	-5	-15	25
Amplitude diária	15	15	20

➤ Cálculo da temperatura na zona 1

A temperatura na zona 1 é calculada a partir da expressão 8.

$$\theta_1 = \frac{h_i \times \theta_{ai} + h_e \times \theta_{ae}}{h_i + h_e} \quad (8)$$

➤ Cálculo da temperatura na zona 2

A temperatura na zona 2 é calculada a partir da expressão 9 para o vidro interior e 10 para o vidro exterior.

$$\theta_{2 \text{ int}} = \frac{h_t \times (h_e \times \theta_{ae} + \alpha_{1e} \times \varphi) + (h_e + h_t) \times (h_i \times \theta_{ai} + \alpha_{2e} \times \varphi)}{(h_i + h_t) \times (h_e + h_t) - h_t^2} \quad (9)$$

$$\theta_{2 \text{ ext}} = \frac{h_t \times (h_i \times \theta_{ai} + \alpha_{2e} \times \varphi) + (h_i + h_t) \times (h_e \times \theta_{ae} + \alpha_{1e} \times \varphi)}{(h_i + h_t) \times (h_e + h_t) - h_t^2} \quad (10)$$

➤ Cálculo da temperatura na zona 3

Para cálculo da temperatura do vidro interior e exterior na zona 3, o raciocínio é o mesmo que para a zona 2, apenas com os valores da zona 3. Após este cálculo, é necessário verificar se o vidro verifica as condições de inverno para a temperatura do ar exterior mínima, θ_{aemin} , e as condições de inverno a partir da temperatura do ar exterior máxima, θ_{aemax} , valores retirados da Tabela 9.

3.5.2.2. Análise do estado de tensão

Para verificar se existe rotura do vidro por choque térmico, é necessário ver se a tensão do vidro não ultrapassa a tensão admissível. Para essa análise, são necessários os seguintes parâmetros:

- k_v - coeficiente de sensibilidade do vidro ao choque térmico, obtido da Figura 35, sendo dependente do tipo de vidro, do modo de fabrico e do tipo de bordos;

			Bordos em bruto	Bordos polidos
Vidro monolítico			1,00	1,20
Vidro laminado	Fabricado com medida fixa e simétrica	um dos vidros e≤3 mm	1,00	1,20
		cada vidro e>3 mm	0,75	1,00
	Fabricado com medida fixa e não simétrica		0,75	1,00
	Cortado simétrico		0,75	-
	Cortado não simétrico		0,70	-
Vidro aramado			0,80	-

Figura 35. – Valores do coeficiente de sensibilidade do vidro ao choque térmico

- k_a – coeficiente dependente da inclinação do vidro e das suas condições de apoio. Como o que se está a estudar neste trabalho são vidros de vãos envidraçados inseridos em caixilhos, ou seja, estão apoiados nos quatro lados e orientados na vertical, este coeficiente toma o valor 1;
- σ_{vm} – tensão de trabalho do vidro, estando dependente do tipo de vidro, obtida da Figura 36;

Tipo de Vidro	ζ_{vm} [MPa]
Recozido	20
Aramado	16
Termoendurecido	35
Temperado termicamente	50
Esmaltado e temperado	35
Impresso recozido	18
Impresso temperado	40
Impresso esmaltado e temperado	30
Impresso aramado	16

Figura 36. – Valores de tensão de trabalho do vidro

- k_t – Coeficiente que tem em conta a posição das janelas na fachada do edifício e a inércia térmica do caixilho, obtido da Figura 37;

	Inércia Térmica Frac	Inércia térmica Média	Inércia Térmica Forte
Vão reentrante	0,90	1,00	1,10
Vão à face do edifício	0,80	0,95	1,10

Figura 37. – Valores do coeficiente k_t

- E – Módulo de elasticidade do vidro, que segundo o documento técnico do LNEC ITE52, é de 72GPa.
- α – coeficiente de dilatação térmica linear do vidro, cujo valor é $9E(-6)$. $^{\circ}C(-1)$;

Com estes parâmetros, podemos calcular a diferença de temperatura máxima admissível, através da expressão 11.

$$\delta\theta_{adm} = \frac{\sigma_{adm}}{k_t \times E \times \alpha} = \frac{k_v \times k_a \times \sigma_{vm}}{k_t \times E \times \alpha} = \frac{k_v \times \sigma_{vm}}{k_t \times 72 \times 10^9 \times 9 \times 10^{-6}} \quad (11)$$

3.5.2.3. Verificação da condição de choque térmico

Com o resultado dos cálculos das várias diferenças de temperatura, tem que se verificar que cada valor é inferior à diferença de temperatura máxima admissível.

$$\delta\theta \leq \delta\theta_{adm} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (12)$$

3.5.3. DETERMINAÇÃO DO EFEITO A AÇÃO DO VENTO - PERMEABILIDADE AO AR, ESTANQUIDADE À ÁGUA E RESISTÊNCIA AO VENTO

O efeito da ação do vento é um fator a ter em conta na escolha de janelas e portas exteriores. Desta forma, de modo a contabilizar a ação do vento e tendo em conta que esta depende da localização do edifício no território, as janelas e portas exteriores devem ser escolhidas tendo em conta os seguintes fatores ⁽³¹⁾:

- Região A e B do território nacional, caracterizadas por velocidades do vento diferentes;
- Tipo I, II e III de rugosidade aerodinâmica;
- Cota a que se encontra a caixilharia acima do solo;
- Fachada abrigada ou não abrigada.

3.5.3.1. Região do território

As zonas A e B dividem-se pelo seguinte: [31]

- Zona A – Toda a região do território nacional exceto a zona B;
- Zona B – Zonas do continente situadas na faixa de 5km junto à costa ou com altitudes superiores a 600m.

3.5.3.2. Rugosidade aerodinâmica

A rugosidade aerodinâmica condiciona a trajetória da velocidade do vento, dividindo-se por três tipos: [31]

- Tipo I – Regiões de predominância de edifícios de médio e grande porte no interior de zonas urbanas;
- Tipo II – Locais não abrangidos pelos tipos I e III, tais como zonas rurais não planas e periferias de zonas urbanas;
- Tipo III – Zonas planas ou nas proximidades de linhas de água nas zonas rurais.

3.5.3.3. Altura da caixilharia acima do solo

Para o âmbito desta dissertação foram apenas consideradas janelas cuja cota não excede os 40 metros de altura do solo, sendo esta medida a partir da cota média do solo no sítio de construção até ao centro da janela. Para locais de construção na proximidade de terrenos com algum declive, o nível de referência utilizado depende do declive do terreno e da distância que separa o edifício do declive. [31]

3.5.3.4. Fachada abrigada ou não abrigada

A proximidade do edifício com um obstáculo, tal como outro edifício, influencia a velocidade do vento. No caso de não haver proximidade, considera-se uma fachada não abrigada. Considera-se fachada abrigada se se verificar uma das duas condições: [31]

- Para uma construção situada a 15 metros, considera-se fachada abrigada a parte da construção que não excede a altura do obstáculo;
- Para uma construção situada entre 15 e 30 metros, considera-se fachada abrigada até 2/3 da altura da construção que não exceda a altura do obstáculo.

3.5.4. PERMEABILIDADE AO AR

A permeabilidade ao ar é uma exigência funcional das caixilharias que retrata a quantidade de ar que passa por uma porta ou janela devido à pressão, medida em m³/h. Trata-se de uma característica das caixilharias que tem de ser limitada para reduzir as perdas de calor e impedir as correntes de ar frio. Por conseguinte, ocorre a redução do consumo energético através do aquecimento e arrefecimento do ambiente, com notória melhoria do conforto. A ventilação natural do edifício é feita maioritariamente pelos vãos envidraçados e a qualidade do ar interior liga-se diretamente às renovações do ar, o que se traduz no valor acrescido desta exigência funcional. A quantidade de ar que é infiltrada pela caixilharia está diretamente dependente da diferença da pressão que ocorre entre o ambiente interno e externo. Tais diferenças podem resultar da ação do vento, da diferença de temperatura ou por ambos os fatores. [31]

As janelas e portas externas devem ser submetidas a testes de permeabilidade ao ar, conforme estipulado pela Norma (EN 1026, 2000). [36]

Os resultados devem ser expressos de acordo com a Norma (EN 12207, 1999). [48] Esta norma estabelece cinco categorias de classificação, numeradas de 0 a 4, onde a classe 0 representa caixilhos sem ensaios e a classe 4 representa caixilhos com permeabilidade ao ar inferior.

A fórmula de cálculo dos limites das classes de permeabilidade ao ar é dada pela expressão: [31]

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ref}} \left(\frac{Q}{Q_{\text{ref}}} \right)^{3/2} \quad (13)$$

Em que:

- ΔP é o valor da diferença de pressão do escoamento do caudal de infiltração, Q;
- Q é o caudal de infiltração;
- ΔP_{ref} é o valor da pressão de referência, de 100 GPa;
- Q_{ref} é a capacidade de escoamento do caudal de infiltração do caixilho, sendo que este valor é característico de cada classe.

Os valores limites da permeabilidade ao ar de janelas e portas exteriores, considerando um caudal máximo de 10m³/(h.m²) (P0,1) para uma velocidade de vento excedida em 10% do tempo, de modo a garantir que a renovação de ar do compartimento é inferior a 1 hora, conforme define o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), e um caudal máximo de 20m³/(h.m²)(P0,02) para uma velocidade de vento excedida em 2% do tempo de modo a que numa situação de vento forte pouco frequente não se atinja a renovação de ar superior ao volume do compartimento, são: [31]

$$\begin{aligned} P_{0,1} \leq 9 \text{ e } P_{0,02} \leq 25 & \Rightarrow 1 \\ 9 < P_{0,1} \leq 23 \text{ e } 25 < P_{0,02} \leq 64 & \Rightarrow 2 \\ 23 < P_{0,1} \leq 117 \text{ e } 64 < P_{0,02} \leq 331 & \Rightarrow 3 \\ 117 < P_{0,1} \text{ e } 331 < P_{0,02} & \Rightarrow 4 \end{aligned} \quad (14)$$

Desta forma, e tendo em conta todos os fatores de efeito da ação do vento, a classificação da permeabilidade ao ar de janelas e portas exteriores, é feita a partir da Tabela 10 com as características do edifício em estudo. [31]

Tabela 10 - Classes de permeabilidade ao ar [31]

Cota	Fachadas abrigadas	Fachadas não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
10	1	1	2	2	1	2	2
15	1	1	2	2	1	2	2
18	1	1	2	2	1	2	3
28	1	1	2	2	2	2	3
40	-	2	2	3	2	2	3

3.5.4. ESTANQUIDADE À ÁGUA

A estanquidade à água consiste numa das exigências mais importantes em caixilharias exteriores, protegendo o edifício de águas pluviais, bem como não devem possibilitar a infiltração de qualquer água oriunda do exterior que possa originar humidade no edifício.

Para que uma caixilharia seja estanque, esta tem de impossibilitar a entrada de água mesmo sob fortes pressões de ventos. A baixa permeabilidade ao ar ajuda ao nível da sua estanquidade à água para maiores pressões de vento. A água pode passar através de diversas formas pelos vãos envidraçados. Como tal, tem de ser dada atenção especial à colocação do caixilho no vão e calcular meios de união e selagem entre o caixilho e a alvenaria. Esse tipo de infiltração é o mais inquietante, na medida que podem resultar em várias anomalias na construção sem que sejam percecionadas prontamente. A água pode passar entre as juntas dos elementos que constituem o caixilho, entre os perfis e/ou entre o vidro e os perfis. Neste sentido, há medidas que contribuem para a melhoria desta exigência, nomeadamente a utilização de soleiras, peitoris, pingadeiras e ademais pormenores construtivos que auxiliam a reduzir o excesso de água no caixilho.

As janelas exteriores necessitam de ser submetidas a ensaios de estanquidade à água tendo como referência a norma EN 1027, 2000 e os resultados classificados em conformidade com a norma EN 12208, 1999., na qual estão previstas dez classes de estanquidade à água regulares, numeradas de 0 a 9, correspondendo a classe 0 a caixilhos não-ensaiados e a classe 9 aos caixilhos de estanquidade à água a pressão mais elevada, bem como está prevista uma classe excecional de estanquidade designada por “Exxx”, que se aplica a caixilhos que são ensaiadas com pressões superiores à 600 Pa, sendo o índice “xxx” o valor da pressão à qual o caixilho permanece estanque. A Figura 38 mostra as pressões e duração do ensaio para as primeiras 9 classes definidas.

Classe segundo EN 12208 (método 1A)	Pressão de ensaio	Duração
1A	0 Pa	15 min.
2A	50 Pa	20 min.
3A	100 Pa	25 min.
4A	150 Pa	30 min.
5A	200 Pa	35 min.
6A	250 Pa	40 min.
7A	300 Pa	45 min.
8A	450 Pa	50 min.
9A	600 Pa	55 min.

Figura 38. – Parâmetros de ensaio da estanquidade à água e respectivas classes

No documento francês DTU36 encontram-se as recomendações seguintes:

- As janelas devem manter-se estanques em situações meteorológicas com probabilidade de acontecerem de 3 em 3 anos;
- Para eventos meteorológicos suscetíveis de acontecer de 10 em 10 anos, as infiltrações de água devem ser reduzidas.

Desta forma, obtiveram-se os valores 33% e 10%, respetivamente, como as probabilidades de serem excedidos os máximos das velocidades médias do vento, num ano, durante 10 minutos. Assim, os valores destas pressões calculados para cada caso dão-nos o valor da classe: [31]

$$\begin{aligned}
 P_{0,33} \leq 50 \text{ e } P_{0,10} \leq 100 & \Rightarrow 2 \\
 50 < P_{0,33} \leq 100 \text{ e } 100 < P_{0,10} \leq 150 & \Rightarrow 3 \\
 100 < P_{0,33} \leq 150 \text{ e } 150 < P_{0,10} \leq 200 & \Rightarrow 4 \\
 150 < P_{0,33} \leq 200 \text{ e } 200 < P_{0,10} \leq 250 & \Rightarrow 5 \\
 200 < P_{0,33} \leq 250 \text{ e } 250 < P_{0,10} \leq 300 & \Rightarrow 6 \\
 250 < P_{0,33} \leq 300 \text{ e } 300 < P_{0,10} \leq 450 & \Rightarrow 7 \\
 300 < P_{0,33} \leq 450 \text{ e } 450 < P_{0,10} \leq 600 & \Rightarrow 8 \\
 450 < P_{0,33} \leq 600 \text{ e } 600 < P_{0,10} \leq 750 & \Rightarrow 9 \\
 600 < P_{0,33} \text{ e } 750 < P_{0,10} & \Rightarrow \text{Exxx}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Tomando em conta as condicionantes da ação do vento, o ITE 51 estabelece a Tabela 11 para a seleção da classe de estanquidade à água de janelas e portas exteriores:

Tabela 11 - Classes de estanquidade à água [31]

Cota	Fachadas abrigadas	Fachadas não abrigadas					
		Região A			Região B		
		I	II	III	I	II	III
10	2	3	3	5	3	4	6
15	2	3	4	6	3	4	7
18	3	3	4	6	3	5	7
28	3	3	5	7	4	6	7
40	-	4	5	7	4	6	7

3.5.4. RESISTÊNCIA AO VENTO

O efeito da força do vento é das solicitações mais desfavoráveis que podem ocorrer numa caixilharia. No caso de ocorrência de elevadas deformações, pode diminuir-se o desempenho de juntas dimensionadas para alcançar a estanquidade, aumentando a entrada do ar exterior e, portanto, anulando o seu efeito. Desta forma, aumentam-se as perdas energéticas e o consumo de energia de maneira a manter o compartimento com as condições desejadas. No caso de condições meteorológicas severas, com vento significativo e queda de chuva, pode ocorrer a entrada de água, podendo dar origem a patologias no edifício em que se insere o vão.

De acordo com a norma EN 12210:1999, para realizar uma classificação de janelas e portas exteriores sobre a resistência da caixilharia ao vento, é necessário que se verifiquem os ensaios de deformação (P1) e de segurança (P3) de acordo com a norma EN12211:2000, mediante os seguintes valores-limite das pressões em Pascal para cada classe: [31]

$$\begin{aligned}
 P1 \leq 400 \text{ e } P3 \leq 600 & \Rightarrow 1 \\
 400 < P1 \leq 800 \text{ e } 600 < P3 \leq 1200 & \Rightarrow 2 \\
 800 < P1 \leq 1200 \text{ e } 1200 < P3 \leq 1800 & \Rightarrow 3 \\
 1200 < P1 \leq 1600 \text{ e } 1800 < P3 \leq 2400 & \Rightarrow 4 \\
 1600 < P1 \leq 2000 \text{ e } 2400 < P3 \leq 3000 & \Rightarrow 5
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Desta forma, a classificação tendo em conta o efeito da ação do vento nas caixilharias é feita pela Tabela 12.

Tabela 12 – Classes de resistência ao vento [31]

Cota	Fachadas abrigadas	Fachadas não abrigadas					
		Região A			Região B		
		I	II	III	I	II	III
10	2	2	3	4	3	3	4
15	2	2	3	4	3	4	5
18	2	2	3	4	3	4	5
28	2	3	5	4	3	4	5
40	-	3	4	5	4	5	B

3.6. OUTRAS EXIGÊNCIAS NÃO AVALIADAS NESTA DISSERTAÇÃO

3.6.1. RESISTÊNCIA AO CHOQUE DE CORPOS SÓLIDOS

Os vãos envidraçados devem ser capazes de resistir ao choque de corpos sólidos até um determinado limite, sendo o vidro a parte mais frágil e suscetível a partir. Trata-se de uma exigência especialmente importante para se garantir a segurança dos ocupantes no caso de embate contra o vidro.

A norma EN 13049 define os procedimentos de ensaio e a classificação a atribuir a cada janela relativamente ao choque de objetos.

3.6.2. RESISTÊNCIA AO FOGO

A resistência ao fogo é uma exigência legal que traduz a capacidade que cada componente de um edifício tem para se opor à ação de um incêndio. A Diretiva 89/106/CEE criada pela Comissão Europeia a 3 de maio de 2000 estabelece que os 4 critérios usados na classificação de vãos envidraçados são:

- Resistência mecânica, R;
- Estanquidade às chamas e gases quentes, E;
- Isolamento térmico, I;
- Radiação, W.

Desta forma, a classificação é feita atribuindo o valor do tempo em minutos que cada componente aguenta, tendo em conta os seguintes intervalos: 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 e 360.

3.6.3. CONDENSAÇÕES

As condensações num vão envidraçado são provocadas pelo contacto do vapor de água existente no ar que entra em contacto com uma superfície fria, passando para o estado líquido. Existem vários fatores que potencializam a ocorrência de condensações, tais como:

- Humidade relativa do ar elevada;
- Superfícies com temperaturas baixas;

As condensações podem ser resolvidas através da ventilação do espaço, renovando o ar interior, através da aplicação de sistemas de isolamento tais como o sistema ETIC's nas paredes exteriores e ainda o aquecimento do ar interior, aumentando o ponto de orvalho.

3.6.4. VENTILAÇÃO

A ventilação dos compartimentos é especialmente importante para garantir a renovação e consequente qualidade do ar interior. É normalmente feita através de dispositivos mecânicos com ajuda da ventilação natural, como a abertura de janelas.

3.7. SÍNTESE DO CAPÍTULO 3

Neste capítulo foram apresentadas as exigências legais e funcionais dos vãos envidraçados e foram escolhidas as que estão no âmbito desta dissertação sendo elas as legais: coeficiente de transmissão térmica, fator solar e isolamento aos sons aéreos; e as funcionais: Resistência ao choque térmico, transmissão luminosa, permeabilidade ao ar, estanquidade à água e ainda resistência ao vento.

Em todos os casos, foi mostrado o modo de determinação referindo ainda a normas aplicáveis tanto de cálculo como de ensaio. O principal objetivo foi cumprido através da indicação dos valores mínimos para as exigências fator solar, isolamento aos sons aéreos, permeabilidade ao ar, estanquidade á água e resistência ao vento; Valores máximos para as exigências coeficiente de transmissão térmica; Valores de referência para a exigência transmissão luminosa; E ainda a condição de verificação de não rotura para a exigência resistência ao choque térmico.

Assim, este capítulo fornece uma base clara dos valores a ter em conta para a criação de um modelo de seleção exigente.

4

MODELO DE SELEÇÃO EXIGENCIAL**4.1. CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE QUALIDADE DAS DIFERENTES EXIGÊNCIAS**

Este capítulo tem por objetivo expor o modelo de seleção exigencial focando o objeto de trabalho nos vãos envidraçados constituídos por caixilho em alumínio, do tipo de correr, e por vidros duplos, em edifícios com altura igual ou inferior a 40 metros, tendo em conta reduzir a amostra para análise de valores dos fabricantes. Serão estabelecidos níveis para classificação de cada exigência, quer seja ela legal ou funcional. Para isto serão estudados os valores regulamentares, no caso das exigências legais, e os valores de conforto do utilizador baseados em documentos técnicos de apoio, permitindo assim, uma escolha mais adequada dos componentes dos vãos envidraçados a utilizar em cada caso.

Desta forma, neste capítulo serão definidos 3 níveis de qualidade para as exigências referentes ao coeficiente de transmissão térmica, fator solar, transmissão luminosa e ainda isolamento aos sons aéreos, estabelecendo um nível mínimo que obedece às imposições regulamentares estabelecidas anteriormente para as exigências legais (coeficiente de transmissão térmica, fator solar e isolamento aos sons aéreos), enquanto para as exigência funcional transmissão luminosa, serão usados os valores base previamente apresentados, tendo em conta que esta exigência se quantifica em forma de percentagem pelo que só varia entre 0 e 100%. O nível médio será um nível proposto tendo por base valores de referência de diversas soluções disponíveis no mercado, traduzido num intervalo de valores. O nível máximo terá por base os valores das melhores soluções no mercado.

No caso das restantes exigências funcionais, tais como: Resistência ao choque térmico, permeabilidade ao ar, estanquidade à água e resistência ao vento, apenas serão considerados dois níveis: o nível 0 e o nível 1, em que o nível 0 estabelece que o componente em estudo não verifica as condições impostas pelas normas e documentos técnicos de apoio apresentados no capítulo 3, e o nível 1 verifica essas condições.

Os níveis criados serão apresentados em forma de matriz que, por último, será apresentada de forma conjunta com o objetivo de tornar mais eficiente o processo de escolha de componentes para os vãos envidraçados.

4.2. QUANTIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE EXIGÊNCIA MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO**4.2.1. COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA**

O valor do coeficiente de transmissão térmica, conforme mostrado anteriormente, tem valores máximos para Portugal continental dependentes da zona climática em que se encontra. Estabelece-se que os valores regulamentares se tratam dos valores máximos admissíveis, uma vez que quaisquer valores acima desses são proibidos. De seguida é necessário estabelecer uma gama de valores baseada nas soluções que existem atualmente. Uma vez que o vidro consegue ter valores mais baixos de

coeficiente de transmissão térmica que a caixilharia, e como o que está em estudo é o conjunto vidro+caixilharia, o valor mais baixo que se pode encontrar atualmente é diretamente dependente da caixilharia.

O Manual do Vidro Saint-Gobain, 2000 [40] faculta diretrizes para o uso de vidros em fachadas de edifícios, tendo em conta a transmissão térmica, sugerindo:

- Vidros Duplos (com Low-E ou controlo solar): U recomendado para vidros de fachada: $\leq 1,1$ $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ (com camada Low-E);
- Vidros duplos sem Low-E: $\leq 1,4$ $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$;
- Vidros Simples: U igual a $5,0$ $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ou superior (não recomendado para fachadas modernas por causa do baixo desempenho térmico).

O trabalho de Daniel Da Cruz Rocha [14] contém uma classificação em 4 níveis de qualidade para o coeficiente de transmissão térmica, mostrado na Figura 39, onde se pode observar que há valores acima dos limites regulamentares.



Figura 39. – Níveis de qualidade do coeficiente de transmissão térmica [14]

Avaliando os valores de marcas de referência para os vãos envidraçados considerados, existem fabricantes que apresentam valores mínimos de $0,66$ $\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ para a sua caixilharia em alumínio.

A Figura 40 mostra o desempenho térmico de janelas da marca Kommerling, na qual se pode observar que existem soluções que atingem coeficientes de transmissão térmica de $0,7$ ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$). É possível ainda observar que qualquer solução com o valor de U inferior a $1,5$ $\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, é considerada uma solução boa, estando na região verde.

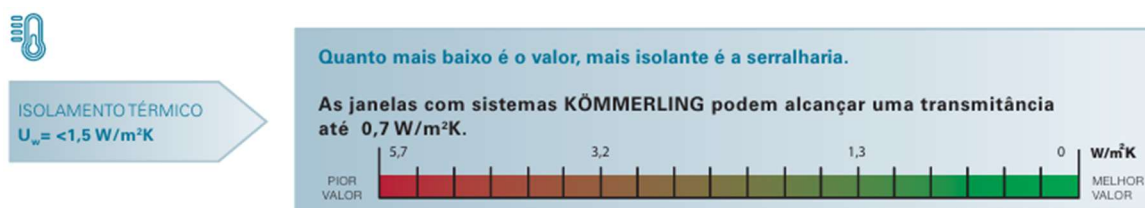


Figura 40. – Desempenho térmico de janelas da marca Kommerling

As Figuras 41 e 42, retiradas do ITE50 [50], mostram uma gama de valores para solução de vãos envidraçados de vidros incolores com e sem dispositivo de oclusão noturna e ainda com e sem corte térmico. Trata-se de um documento com alguma idade pelo que os valores apresentados são maioritariamente superior a 2 $\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, tendo em conta as soluções disponíveis na altura.

A – SEM CORTE TÉRMICO

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar [mm]	$U_w^{(1)}$ [W/(m ² .°C)]	$U_{wdn}^{(2)}$ [W/(m ² .°C)]		
					Dispositivo de oclusão noturna		
					Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
						Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	fixa	—	6,0	4,9	4,5	3,8
		giratória	—	6,2	5,0	4,6	3,9
		de correr	—	6,5	5,2	4,8	4,1
	2 (vidro duplo)	fixa	6	3,9	3,4	3,2	2,8
			16	3,5	3,1	2,9	2,6
			16 low $\epsilon^{(3)}$	3,1	2,8	2,6	2,3
		giratória	6	4,3	3,7	3,4	3,0
			16	3,8	3,3	3,1	2,7
			16 low $\epsilon^{(3)}$	3,6	3,2	3,0	2,6
		de correr	6	4,5	3,9	3,6	3,1
			16	4,0	3,5	3,3	2,9
			16 low $\epsilon^{(3)}$	3,7	3,3	3,1	2,7
Duplo ⁽⁴⁾ (2 janelas)	1 (vidro simples) em cada janela	fixa, giratória ou de correr	50 a 100 mm (distância entre janelas)	3,1	2,8	2,6	2,3

NOTAS:

- 1 - U_w , coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, aplicável a locais sem ocupação noturna (vd. texto 4.5).
- 2 - U_{wdn} , coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado (inclui a contribuição dos eventuais dispositivos de oclusão noturna), aplicável a locais com ocupação noturna (vd. texto 4.5). Se o vão envidraçado não dispõe de dispositivos de oclusão noturna, $U_{wdn} = U_w$.
- 3 - Para os vidros com baixa emissividade (low ϵ) considera-se uma emitância $\epsilon = 0,40$. Para outros valores de ϵ vd. texto 4.5.
- 4 - Nas janelas duplas admite-se que ambas as janelas têm o mesmo tipo de vidro simples e de caixilho de madeira. Para outras combinações de janelas vd. texto 4.5.

Figura 41. – Coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados com caixilharia metálica sem corte térmico [50]

B – COM CORTE TERMICO

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar [mm]	$U_w^{(1)}$ [W/(m². °C)]	$U_{wdn}^{(2)}$ [W/(m². °C)]		
					Dispositivo de oclusão noturna		
					Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
						Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	fixa, giratória ou de correr	—	5,4	4,5	4,1	3,6
	2 (vidro duplo)		6	3,7	3,3	3,1	2,7
			16	3,3	2,9	2,8	2,5
			16 low ϵ ⁽³⁾	3,0	2,7	2,6	2,3

NOTAS:

- 1 - U_w , coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, aplicável a locais sem ocupação noturna (vd. texto 4.5).
- 2 - U_{wdn} , coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado (inclui a contribuição dos eventuais dispositivos de oclusão noturna), aplicável a locais com ocupação noturna (vd. texto 4.5). Se o vão envidraçado não dispõe de dispositivos de oclusão noturna, $U_{wdn} = U_w$.
- 3 - Para os vidros com baixa emissividade (low ϵ) considera-se uma emitância $\epsilon = 0,40$. Para outros valores de ϵ vd. texto 4.5.

Figura 42. – Coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados com caixilharia metálica com corte térmico [50]

Tendo em conta que os limites máximos para as zonas climáticas I1, I2 e I3 são 2,8, 2,4, e 2,2, respetivamente, definem-se na Tabela 13 intervalos de valores de coeficiente de transmissão térmica que têm em consideração os valores máximos admissíveis apresentados no capítulo 3 e os valores otimizados das soluções disponíveis no mercado. Para os intervalos correspondentes ao nível médio, procurou-se incluir cerca de 50% das soluções disponíveis do mercado.

Tabela 13 – Níveis de qualidade do coeficiente de transmissão térmica

Zona climática	Nível de Qualidade		
	N otimizado	N médio	N mínimo
I1	<1,2	1,2-2,0	2,0-2,8
I2	<1,1	1,1-2,0	2,0-2,4
I3	<1,0	1,0-1,8	1,8-2,2

4.2.2. FATOR SOLAR

O fator solar, g, é um parâmetro dependente do vidro e da existência de dispositivos de proteção pelo interior e exterior, e é expresso com valores entre 0 e 1. Um valor de fator solar próximo de 0 significa o baixo ganho térmico quando ocorre a incidência da radiação solar enquanto um valor próximo de 1 significa o ganho de calor no ambiente interno do compartimento. A Figura 29 do capítulo 3 mostra que, sendo uma exigência legal com um limite máximo dependente do tipo de zona climática, os

valores apresentados não podem ser ultrapassados. Desta forma, o valor máximo de fator solar corresponde ao limite do nível mínimo do modelo de seleção exigencial.

Para definição do nível máximo, é preciso analisar a Figura 30 do capítulo 3 com o objetivo de perceber quais são os valores máximos possíveis que se consegue atingir a nível do fator solar do vão envidraçado com dispositivo de proteção pelo exterior ou interior. A análise deste quadro permite perceber que a utilização de dispositivos de proteção exterior faz com que o fator solar apresente valores mais baixos, e também que quanto mais transparente é essa mesma proteção, maior o fator solar. O valor 0 é impossível atingir. Desta forma, considerou-se o valor mínimo é o valor máximo admissível do regulamento.

É possível analisar que das 113 soluções, existem 9 cujos valores são inferiores ou iguais a 0,05 (cerca de 8%), 37 soluções cujos valores são inferiores ou iguais a 0,10 e ainda que 60 soluções têm valores inferiores ou iguais a 0,25. Visto que a inércia térmica do espaço influencia negativamente o fator solar, isto é, quanto mais fraca a inércia, menor tem de ser o fator solar. Considerou-se que o nível mínimo e o nível otimizado deveriam ter uma gama de valores menor que o médio, para que o nível médio correspondesse a maior parte das soluções do fator solar.

A divisão por percentis 25%, como se realizou para o coeficiente de transmissão térmica, seria muito difícil de aplicar neste caso de forma a encontrar valores de intervalo admissíveis, pelo que se optou pelos valores da Tabela 14, que apresentam uma divisão equilibrada do fator solar.

Tabela 14 – Níveis de qualidade do fator solar

Zona climática		Nível de Qualidade		
		N otimizado	N médio	N mínimo
V1 e V2	Fraca V1	<0,05	0,05-0,10	0,15-0,10
	Fraca V2	-	<0,05	0,10-0,05
	Média	<0,25	0,50-0,25	0,56-0,50
	Forte	<0,25	0,50-0,25	0,56-0,50
V3	Fraca	-	<0,05	0,10-0,05
	Média	<0,10	0,35-0,10	0,50-0,35
	Forte	<0,10	0,35-0,10	0,50-0,35

4.2.3. ISOLAMENTO AOS SONS AÉREOS

O índice de isolamento aos sons aéreos é uma variável dependente tanto do vidro como do caixilho, pelo que é preciso um especial cuidado na escolha dos dois componentes do vão envidraçado.

O nível de qualidade mínimo das fachadas para as zonas mistas e zonas sensíveis é estabelecido segundo os valores do regulamento presentes na Tabela 4 do capítulo 3 que são 33dB e 28dB, respetivamente. Vamos considerar que o desempenho global da fachada, por simplificação, é igual ao desempenho do seu elemento constituinte mais frágil, que é o vão envidraçado.

Considera-se ainda que o valor mínimo para as duas zonas, é o valor mínimo das zonas mistas, ou seja, 33dB. Desta forma estabelecemos o ponto de partida para a criação dos restantes intervalos visto que o isolamento acústico é um parâmetro que não tem valor máximo. Assim, os restantes intervalos

têm de ser definidos segundo as soluções disponíveis no mercado. A Figura 43 mostra o valor de R_w para vários vidros da Saint Gobain.

Material	Empresa	Tipo	Designação	Solução	Descrição ⁰¹ (mm)	Espessura (mm)	Massa (kg/m ²)	R_w (dB)	$R_{w, norma}$ (dB) [N.13]
Vidros	SAINT GOBAIN	Vidro simples		JA.1		3		29	28
				JA.2		4		30	29
				JA.3		5		30	30
				JA.4		6		31	31
				JA.5		8		33	32
				JA.6		10		33	33
				JA.7		12		34	34
		Vidros laminados		JA.8	33.1 ou 33.2	6		33	-
				JA.9	44.1 ou 44.2	8		34	-
				JA.10	55.1 ou 55.2	10		35	-
				JA.11	66.1 ou 66.2	12		35	-
			filme PVB de 0,38 mm ou de 0,76 mm	JA.12	33.1 ou 33.2	6	15.5	36	32
				JA.13	44.1 ou 44.2	8	20.5	37	33
				JA.14	55.1 ou 55.2	10	25.5	38	34
				JA.15	66.1 ou 66.2	12	31	39	-
				JA.16	4 (12) 33.1	22	25.5	34	-
				JA.17	6 (12) 33.1	24	30.5	37	33
		Vidro duplos	vidro laminado em pano interior e vidro simples em pano exterior	JA.18	8 (6) 33.1	20	35.5	38	-
				JA.19	10 (9) 33.1	25	40.5	39	-
				JA.20	6 (12) 44.1	26	35.5	38	-
				JA.21	8 (12) 44.1	28	40.5	40	-
				JA.22	10 (12) 44.1	30	45.5	41	-
				JA.23	8 (12) 44.2	29	41	40	-
				JA.24	10 (12) 44.2	31	46	42	-
				JA.25	10 (16) 88.2	43	66	45	-
			vidro laminado em pano interior e exterior	JA.26	33.1 (9) 55.1	26	41	41	-
				JA.27	44.1 (12) 64.2	31	46.5	43	-
				JA.28	44.2 (20) 64.2	40	47	47	-
			vidro simples em pano interior e exterior	JA.29	4 (12) 6	22		33	32
				JA.30	4 (12) 8	24		34	33
				JA.31	4 (12) 10	26		35	35
				JA.32	6 (12) 8	26		35	35
				JA.33	6 (12) 10	28		37	35
				JA.34	8 (12) 10	30		37	-
	PRONORMA	Vidro duplo		JA.35	vidro duplo			35 a 45	-

Figura 43. – Valores de isolamento aos sons aéreos de vidros da Saint-Gobain [40]

Como o valor mínimo a considerar é de 33dB, os dados para criação dos intervalos foram definidos tendo em conta as soluções disponíveis no mercado. Para o intervalo correspondente ao nível médio procurou-se enquadrar cerca de 50% das soluções. [51]

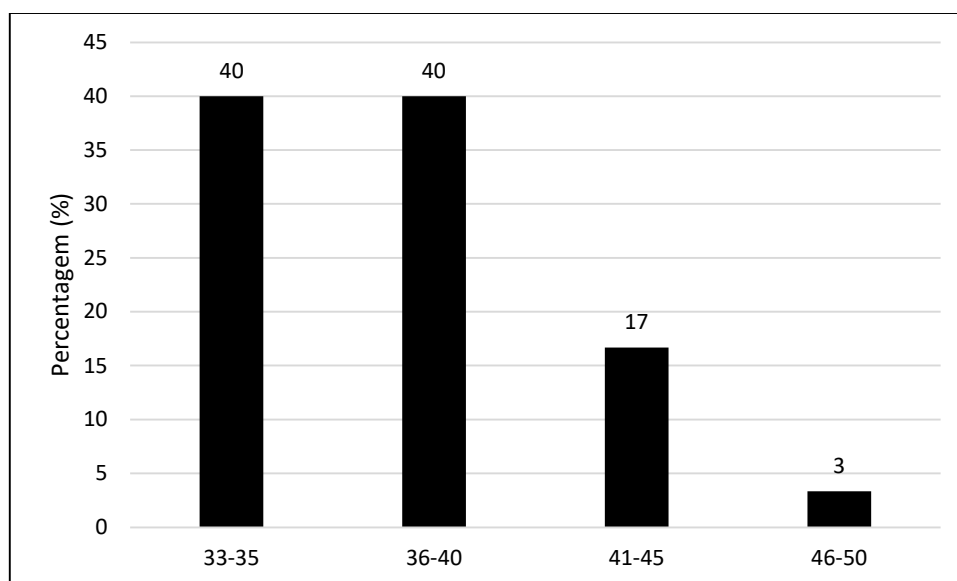


Figura 44. – Distribuição de valores de índice de isolamento sonoro dos vidros da Figura 43

O gráfico da Figura 44 permite ter uma visão ampla da gama de valores a considerar para a criação dos intervalos. A distribuição dos níveis não deve ser feita de forma igual, ou seja, não se deve dividir os 100% da amostra de forma equivalente, que seria 33,3% para todos os intervalos. A amostra deve ser dividida de maneira que o nível mínimo e médio sejam os que englobam o maior número de soluções, uma vez que é também o nível com maior número valores e ainda para haver uma grande diferenciação entre as soluções medianas e as soluções muito boas.

A escala da Figura 45 foi retirada de um guia prático de compra de janelas da marca Kommerling, com o intuito de fornecer uma visão global de valores para os vãos envidraçados (caixilho+vidro).

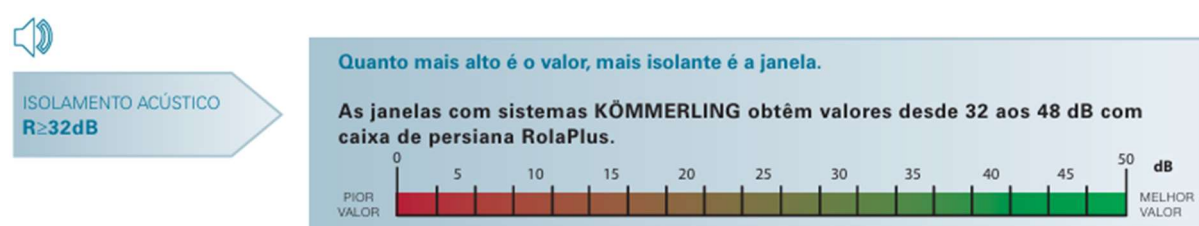


Figura 45. – Desempenho acústico de janelas da marca Kommerling

Da Figura 45, podemos observar que a partir dos 40dB todas as soluções adotadas são consideradas ótimas, confirmando o nível otimizado. Na Tabela 15 apresentamos valores para os níveis de qualidade que consideramos válidos para o vão envidraçado.

Tabela 15 – Níveis de qualidade do isolamento aos sons aéreos do vão envidraçado (em dB)

Nível de Qualidade		
N otimizado	N médio	N mínimo
>40	35-40	33-35

4.2.4. TRANSMISSÃO LUMINOSA

A transmissão luminosa é uma exigência funcional dos vãos envidraçados, totalmente dependente do vidro que constitui o vão. De forma a classificar os 3 níveis de qualidade, é necessária uma análise de todos os tipos de vidros existentes no mercado.

Para definir os níveis limite de qualidade da transmissão luminosa, tem de se ter em conta que a luz natural é favorecida em relação à luz artificial com o intuito de minimizar o consumo energético e aumentar o conforto do utilizador. No entanto, um vidro com maior transmissão luminosa também pode ter um maior fator solar pelo que tem de se considerar um equilíbrio aquando da escolha do vidro. Como mostrado no capítulo 3, baseado num trabalho já realizado por Daniel Da Cruz Rocha [14], as Tabelas 5 e 6 apresentam valores de transmissão luminosa para os vários tipos de vidros simples e vidros duplos, respetivamente. Nestas Figuras podemos observar que a transmissão luminosa mínima apresentada é 11% pelo vidro duplo constituído por um vidro recozido e um vidro de alta refletividade C verde, com as espessuras 6(12)6 milímetros. De modo a descartar alguns tipos de vidros com transmissão luminosa tão baixa que retiram conforto ao utilizador, a base do nível mínimo considerada foi de 15%.

Daniel Da Cruz Rocha ⁽¹⁴⁾, no seu trabalho, apresenta também uma categorização por níveis de qualidade, baseada nos valores nas Tabelas 5 e 6, como mostra a Figura 46.

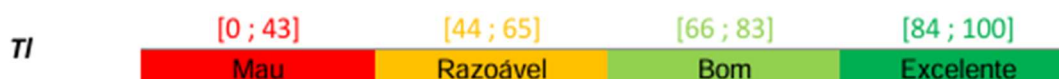


Figura 46. – Níveis de qualidade da transmissão luminosa [14]

Embora se pudesse adotar os mesmos níveis de qualidade, de forma a tornar mais simples a aplicação do modelo exigencial, manteve-se a adoção dos três níveis de qualidade iniciais, em vez dos 4 apresentados na Figura 46. No entanto, os valores servem como base para conceção do modelo de seleção exigencial.

Como apresentado na Figura 46, todos os valores abaixo de 44% podem ser inadequados para o alcance do conforto do utilizador. Desta forma, considera-se que o nível mínimo deverá ter o mesmo valor limite. Como a transmissão luminosa só pode alcançar os 100%, o nível máximo será definido por um intervalo de valores apenas até 100%. A transmissão luminosa deve ter o maior valor possível (a não ser que o que se pretenda seja bloquear a luminosidade), e esta gama de valores máximos é atingida através da utilização de vidros incolores. Pela análise da Tabela 6 no caso dos vidros duplos (pois têm menor percentagem de transmissão luminosa que os simples), podemos observar que os valores da transmissão luminosa destes vidros rodeiam os cerca de 70%. Desta forma, e de concordância com o trabalho realizado por Daniel Da Cruz Rocha [14], todos os vidros com valores de transmissão luminosa superiores a 70% devem ser considerados de nível otimizado. Pela lógica, obtém-se os valores do nível médio e por consequência, a Tabela 16 para o modelo de seleção exigencial.

Tabela 16 – Níveis de qualidade da transmissão luminosa

Nível de Qualidade		
N otimizado	N médio	N mínimo
>0,70	0,70-0,45	0,44-0,15

4.3. QUANTIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE EXIGÊNCIA 0 E 1

4.3.1. RESISTÊNCIA AO CHOQUE TÉRMICO

A resistência ao choque térmico de um vidro, como mostrado anteriormente, calcula-se através de um processo de cálculo, cujo critério de dimensionamento térmico é a análise da diferença de temperatura máxima admissível nas várias zonas do vidro interior e exterior, tanto no inverno como no verão, para que se verifique a seguinte condição:

$$\delta\theta \leq \delta\theta_{adm} \text{ [}^{\circ}\text{C]} \quad (12)$$

Desta forma, para a exigência funcional resistência ao choque térmico, apenas existe um critério: ou verifica a relação (expressão 12) em todas as zonas do vidro, sendo-lhe atribuído o nível 1, ou não verifica, sendo-lhe atribuído o nível 0.

4.3.1.1. Exemplo de aplicação

Tendo por base o trabalho realizado por Maria Francisco Cavaleiro [12], foi estudado o seguinte exemplo: Suponhamos que temos um edifício localizado em Braga (Zona climática I2), com vãos envidraçados reentrantes e orientados a Sudeste, Sendo o caixilho do tipo VEC de inércia térmica de classe fraca e com coeficiente de transmissão térmica (U_g)=1,4W/(m².°C). O vidro escolhido para o projeto é um vidro duplo, constituído por um vidro interior laminado recozido 44.2mm, com bordo em bruto e cortado de forma simétrica, tendo uma absorção energética (A_{e2})=0,06, e ainda, um vidro exterior laminado recozido 64.2mm, com bordo em bruto e cortado de forma simétrica, tendo uma absorção energética de (A_{e1})=0,32.

➤ Cálculo da diferença de temperatura admissível, $\delta\theta_{adm}$

Para cálculo de $\delta\theta_{adm}$, necessitamos dos valores de k_v , σ_{vm} e k_t .

- $k_v = 0,75$ devido ao bordo bruto cortado de forma simétrica;
- $\sigma_{vm} = 20\text{MPa}$, sendo os dois vidros recozidos;
- $k_t = 0,9$, sendo a caixilharia de inércia térmica fraca e o vão reentrante relativamente à fachada.

Desta forma, temos que:

$$\delta\theta_{adm} = \frac{0,75 \times 20 \times 10^6}{0,9 \times 6,48 \times 10^5} = 25,72 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (17)$$

➤ Cálculo da resistência térmica do vão, R_0

$$R_0 = \frac{1}{U_g} - 0,17 = \frac{1}{1,4} - 0,17 = 0,5443 \text{ [(m}^2\text{.}^{\circ}\text{C)/W]} \quad (18)$$

- Cálculo da resistência térmica do vidro para condições de inverno, $R_1(INV)$:

$$R_1(INV) = 0,92 \times R_0 = 0,92 \times 0,5443 = 0,5007 \quad [(m^2 \cdot ^\circ C)/W] \quad (20)$$

- Cálculo da resistência térmica do vidro para condições de verão, $R_1(VER)$

$$R_1(VER) = 0,78 \times R_0 = 0,92 \times 2,8 = 0,4245 \quad [(m^2 \cdot ^\circ C)/W] \quad (21)$$

- Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vidro, para condições de inverno e de verão, $h_t(INV)$ e $h_t(VER)$

Tendo agora os parâmetros todos calculados, basta aplicar a expressão 22 de cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vidro para as condições de inverno, ($h_t(INV)$), e de verão, ($h_t(VER)$).

$$h_t = \frac{1}{R_1} \quad [W/(m^2 \cdot ^\circ C)] \quad (22)$$

$$h_t(INV) = \frac{1}{0,5007} = 2,00 \quad [W/(m^2 \cdot ^\circ C)] \quad (23)$$

$$h_t(VER) = \frac{1}{0,4245} = 2,36 \quad [W/(m^2 \cdot ^\circ C)] \quad (24)$$

- Condutância superficial interior no inverno e verão, $h_i(VER)$ e $h_i(INV)$: assumem os valores constantes, tais que $h_i(VER) = h_i(INV) = 9 W/m^2 \cdot ^\circ C$
- Condutância superficial exterior no inverno e verão, $h_e(VER)$ e $h_e(INV)$: assumem os valores constantes, tais que $h_e(VER) = 13 W/m^2 \cdot ^\circ C$ e $h_e(INV) = 11 W/m^2 \cdot ^\circ C$
- Temperatura do ar interior no inverno e verão, $\theta_{ai}(INV)$ e $\theta_{ai}(VER)$: assumem os valores constantes, tais que: $\theta_{ai}(INV) = 20^\circ C$ e $\theta_{ai}(VER) = 25^\circ C$
- Fluxo Solar incidente, para condições de verão e inverno, retirado da Tabela 8;

$$\theta_{\max}(INV) = 837 \quad (25)$$

$$\theta_{\max}(VER) = 576 \quad (26)$$

- Radiação solar difusa, para condições de verão e de inverno, retirada da Tabela 8;

$$\theta_{dit}(INV) = 88 \quad (27)$$

$$\theta_{dif}(VER) = 73 \quad (28)$$

- Temperatura do ar exterior de inverno e de verão, retiradas da Tabela X;

$$\theta_{aemin}(INV) = -5^\circ C \quad (29)$$

$$\theta_{ae \text{ min corrigida}} = (\theta_{aemin}) + 5 = 0^\circ C \quad (30)$$

$$\theta_{ae \text{ max}} = 45^\circ C \quad (31)$$

- Absorção energética do vidro exterior para condições de inverno e verão:

$$(\alpha_{2e}) = 0,06 \quad (32)$$

- Absorção energética do vidro interior para condições de inverno e verão:

$$(\alpha_{1e}) = 0,32 \quad (33)$$

- Cálculo da temperatura na zona 1

$$\theta_1(INV) = \frac{9 \times 20 + 11 \times (-5)}{9 + 11} = 6,25^\circ C \quad (34)$$

$$\theta_1(VER) = \frac{9 \times 25 + 11 \times (45)}{9 + 11} = 36,82^\circ C \quad (35)$$

- Cálculo da temperatura na zona 2 do vidro interior para condições de inverno e verão

$$\theta_{2int}(INV) = \frac{2,00 \times (11 \times 0 + 0,32 \times 837) + (11 + 2,00) \times (9 \times 20 + 0,06 \times 837)}{(9 + 2,00) \times (11 + 2,00) - (2,00)^2} \quad (36)$$

$$= 25,38 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_{2int}(VER) = \frac{2,36 \times (13 \times 45 + 0,32 \times 576) + (13 + 2,36) \times (9 \times 25 + 0,06 \times 576)}{(11,36) \times (13 + 2,36) - (2,36)^2} \quad (37)$$

$$= 34,35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- Cálculo da temperatura na zona 2 do vidro exterior para condições de inverno e verão

$$\theta_{2ext}(INV) = \frac{2,00 \times (9 \times 20 + 0,06 \times 837) + (9 + 2,0) \times (11 \times (0) + 0,32 \times 837)}{(9 + 2,00) \times (11 + 2,00) - (4,00)^2} \quad (38)$$

$$= 24,51 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_{2ext}(VER) = \frac{2,36 \times (9 \times 25 + 0,06 \times 576) + (11,36) \times (13 \times 45 + 0,32 \times 576)}{(9 + 2,36) \times (13 + 2,36) - (2,36)^2} \quad (39)$$

$$= 55,36 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- Cálculo da temperatura na zona 3 do vidro interior para condições de inverno e verão

$$\theta_{3int}(INV) = \frac{2,00 \times (11 \times 0 + 0,32 \times 88) + (11 + 2,00) \times (9 \times 20 + 0,06 \times 88)}{(9 + 2,00) \times (11 + 2,00) - (2,00)^2} \quad (40)$$

$$= 17,73 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_{3int}(VER) = \frac{2,36 \times (13 \times 45 + 0,32 \times 73) + (15,36) \times (9 \times 25 + 0,06 \times 73)}{(9 + 2,36) \times (13 + 2,36) - (2,36)^2} \quad (41)$$

$$= 29,36 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- Cálculo da temperatura na zona 3 do vidro exterior para condições de inverno e verão

$$\theta_{3ext}(INV) = \frac{2,00 \times (9 \times 20 + 0,06 \times 88) + (9 + 2,00) \times (11 \times (0) + 0,32 \times 88)}{(9 + 2,00) \times (11 + 2,00) - (2,00)^2} \quad (42)$$

$$= 4,89 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_{3ext}(VER) = \frac{2,36 \times (9 \times 25 + 0,06 \times 73) + (9 + 2,36) \times (13 \times 45 + 0,32 \times 73)}{(9 + 2,36) \times (13 + 2,36) - (2,36)^2} \quad (43)$$

$$= 44,12 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

4.3.1.2. Resultados e análise

A compilação dos resultados obtidos resulta na Tabela 17.

Tabela 17 – Temperaturas no vidro interior e exterior nas várias zonas

Estação	Zona do Vidro	Vidro Exterior	Vidro Interior
Inverno	θ_1 (Zona 1 - "gola")	6,25°C	6,25°C
	θ_2 (Zona 2 - "ao sol") -	24,51°C	25,38°C
	θ_3 (Zona 3 - "à sombra")	4,89°C	17,73°C
Verão	θ_1 (Zona 1 - "gola")	36,82°C	36,82°C
	θ_2 (Zona 2 - "ao sol") -	55,36°C	34,35°C
	θ_3 (Zona 3 - "à sombra")	44,12°C	29,36°C

Por fim, para se verificar a condição de resistência ao choque térmico, calcula-se as 8 diferenças de temperatura entre as várias zonas do vidro, para a estação de Inverno (Tabela 18) e para a estação de verão (Tabela 19).

Tabela 18 – Resultados para a estação de Inverno

Diferença de Temperatura	Vidro Exterior	Vidro Interior
$\theta_2 - \theta_1$ (°C)	24,51-6,25 = 18,26°C	25,38-6,25 = 19,13°C
$\theta_2 - \theta_3$ (°C)	24,51- 4,89 = 19,62°C	25,38-17,73 = 7,65°C
$\delta\theta$ (°C)	19,62°C	19, 13°C
$\delta\theta_{adm}$ (°C)	25,72°C	25,72°C
Comentário Final	Verificado	Verificado

Tabela 19 – Resultados para a estação de Verão

Diferença de Temperatura	Vidro Exterior	Vidro Interior
$\theta_2 - \theta_1$ (°C)	55,35 - 36,82 = 18,53°C	36,82-34,35 = 2,47°C
$\theta_2 - \theta_3$ (°C)	55,35-44,12 = 11,23°C	34,35-29,36 = 4,99°C
$\delta\theta$ (°C)	18,53°C	4,99°C
$\delta\theta_{adm}$ (°C)	25,72°C	25,72°C
Comentário Final	Verificado	Verificado

Concluindo, e de acordo com o modelo de seleção exigencial criado, a este vidro é atribuído o nível 1 uma vez que verifica em todas as diferenças de temperatura, a condição do critério de verificação.

4.3.2. NÍVEL 0 E 1 - PERMEABILIDADE AO AR, ESTANQUIDADE À ÁGUA E RESISTÊNCIA AO VENTO

As exigências funcionais permeabilidade ao ar, estanquidade à água e resistência ao vento, são exigências que têm os valores definidos por normas como mostrado no capítulo 3. Trata-se de

exigências cujo aumento de classes para além do que é estabelecido pelos ensaios, não aumenta de forma significativa o conforto do utilizador, não havendo uma grande necessidade de subdividir as classes existentes por níveis de qualidade.

Os valores apresentados são baseados em ensaios, pelo que se forem cumpridos, não existe risco de algum tipo de patologia nas condições definidas pelo documento francês DTU39 e pelo documento português do LNEC, o ITE51. Desta forma, numa perspetiva prática, existem apenas dois possíveis resultados para cada uma das exigências: A solução escolhida verifica as classes estipuladas pela norma, sendo-lhe atribuído o nível 1 de verificação, ou então não verifica a classe necessária, sendo-lhe atribuído o nível 0.

A atribuição de 3 níveis de qualidade neste tipo de exigências, obrigaria a um estudo intensivo do mercado existente atualmente para obter uma amostra suficientemente grande, de modo a criar uma fundamentação lógica e válida que fizesse a divisão das classes pelos diferentes níveis.

Como o que é pretendido com esta dissertação é tornar mais eficaz a escolha de janelas e portas exteriores, sendo que o componente da caixilharia escolhido já deve estar devidamente testado e classificado, segundo as normas apresentadas no capítulo 3, no início da aplicação do modelo, a caixilharia deve apresentar na sua ficha técnica uma classe para cada exigência que terá de ser apenas verificada para as condições em que está a ser aplicada, isto é, se se encontra numa fachada abrigada ou não, a que cota é que se pretende aplicar a janela, em que região do país é que se encontra o edifício e ainda, qual é o tipo de rugosidade aerodinâmica a que está sujeita. Com estas variáveis, verifica-se se a porta/janela exterior verifica a classe recomendada, estabelecida pelas normas, para cada caso.

4.3.3. PERMEABILIDADE AO AR

A classe de permeabilidade ao ar encontra-se definida no capítulo 3, sendo os valores apresentados tomados como a condição de verificação. O valor da classe do caixilho deve ser superior ao que é apresentado na Tabela 20 para as condições a que está sujeito o vão.

Tabela 20 – Classes de Permeabilidade ao ar

Cota	Fachadas abrigadas	Fachadas não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
10	1	1	2	2	1	2	2
15	1	1	2	2	1	2	2
18	1	1	2	2	1	2	3
28	1	1	2	2	2	2	3
40	-	2	2	3	2	2	3

4.3.4. ESTANQUIDADE À ÁGUA

O ITE 51 apresenta a Tabela 21 com valores recomendados, que se estabelece como os valores de classes mínimas de verificação para o modelo de seleção exigencial, consoante o caso em estudo.

Tabela 21 – Classes de Estanquidade à água

Cota	Fachadas abrigadas	Fachadas não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
10	2	3	3	5	3	4	6
15	2	3	4	6	3	4	7
18	3	3	4	6	3	5	7
28	3	3	5	7	4	6	7
40	-	4	5	7	4	6	7

4.3.5. RESISTÊNCIA AO VENTO

A resistência ao vento, tal como a permeabilidade ao ar e estanquidade à água, tem no documento português ITE51 do LNEC, o valor recomendado para a classe do caixilho a aplicar mediante cada caso. Esses valores encontram-se definidos na Tabela 22.

Tabela 22 – Classes de resistência ao vento

Cota	Fachadas abrigadas	Fachadas não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
10	2	2	3	4	3	3	4
15	2	2	3	4	3	4	5
18	2	2	3	4	3	4	5
28	2	3	5	4	3	4	5
40	-	3	4	5	4	5	B

4.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO 4

O capítulo 4 classifica níveis de qualidade para as exigências apresentadas no capítulo 3, de modo a tornar mais fácil o processo de escolha de vãos envidraçados em projeto. Desta forma cria-se um modelo para cada exigência que se encontra compilado na Tabela 23. Em função da localização, do edifício e do nível de qualidade pretendido para o vão envidraçado, os valores para cada exigência terão de ser introduzidos na linha correspondente no quadro. Tendo em conta que os dois componentes de vãos envidraçados são o vidro e o caixilho, é preciso realçar que:

- O fator solar, transmissão luminosa e resistência ao choque térmico são exigências relativas ao vidro;
- A permeabilidade ao ar, estanquidade à água e resistência ao vento são exigências relativas à caixilharia;
- O coeficiente de transmissão térmica e o isolamento aos sons aéreos são exigências relativas ao vão envidraçado pelo que o valor a adotar para atribuição do nível de qualidade, deve ser

sempre o valor mais prejudicial, isto é, o mais alto do coeficiente de transmissão térmica e o mais baixo do isolamento aos sons aéreos, entre os dois componentes.

Tabela 23 – Modelo de seleção exigencial

Níveis de qualidade						Valor
Coeficiente de transmissão térmica $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Zona climática		N otimizado	N médio	N mínimo	
	I1		<1,2	1,2-2,0	2,0-2,8	
	I2		<1,1	1,1-2,0	2,0-2,4	
	I3		<1,0	1,0-1,8	1,8-2,2	
Fator solar	Zona climática	Inércia térmica	N otimizado	N médio	N mínimo	
	V1 e V2	Fraca V1	<0,05	0,05-0,10	0,15-0,10	
		Fraca V2	-	<0,05	0,10-0,05	
		Média	<0,25	0,50-0,25	0,56-0,50	
		Forte	<0,25	0,50-0,25	0,56-0,50	
	V3	Fraca	-	<0,05	0,10-0,05	
		Média	<0,10	0,35-0,10	0,50-0,35	
		Forte	<0,10	0,35-0,10	0,50-0,35	
Isolamento aos sons aéreos (dB)			N otimizado	N médio	N mínimo	
			>40	35-40	33-35	
Transmissão luminosa (%)			N otimizado	N médio	N mínimo	
			>0,70	0,70-0,45	0,44-0,15	
Níveis de verificação						Valor
Resistência ao choque térmico		$\delta\theta\leq\delta\theta_{adm}$			$\delta\theta_{adm}$	
					$\delta\theta$	
Permeabilidade ao ar		Classe Tabela 20 $\leq$ Classe VE			Tabela 20	
					Classe VE	
Estanquidade à água		Classe Tabela 21 $\leq$ Classe VE			Tabela 21	
					Classe VE	
Resistência ao vento		Classe Tabela 22 $\leq$ Classe VE			Tabela 22	
					Classe VE	

Devido à quantidade elevada de valores para as exigências permeabilidade ao ar, estanquidade à água e resistência ao vento, na Tabela base para classificação dos níveis, apenas é introduzido o valor retirado de cada Tabela indicada e o valor da classe do vão envidraçado (Classe VE).

Com os valores extrapolados da Tabela 23, poder-se-á por fim preencher a Tabela 24 com cruzeiros, de modo a classificar a solução adotada a nível de qualidade.

Tabela 24 – Resultados do modelo de seleção exigencial

Exigências	Nível		
	Mínimo	Médio	Otimizado
Coef. de trans. térmica, U ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)			
Fator Solar, g			
Transmissão luminosa, TI(%)			
Isolamento aos sons aéreos, Rw (dB)			
Exigências	Nível		
	0	1	
Resistência ao choque térmico			
Permeabilidade ao ar			
Estanquidade à água			
Resistência ao vento			

5

APLICAÇÃO DO MODELO

5.1. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Neste capítulo será apresentado um caso de estudo real para aplicação do modelo elaborado ao longo deste trabalho. Através da aplicação será possível avaliar o modelo em contexto real, mostrando as limitações e possíveis alterações futuras.

A moradia em questão é uma residência unifamiliar geminada, situada em Miranda do Douro, distrito de Bragança, com uma área de construção de cerca de $250m^2$ dividida por dois pisos: rés-do-chão e primeiro andar. A moradia é constituída por 1 quarto, 3 suítes, 1 sala de estar ligada a sala de jantar e cozinha, 1 casa de banho e áreas técnicas. Pelo exterior, a habitação é rodeada por um jardim sendo que virado para a fachada posterior encontra-se um anexo e uma piscina exterior. Nas imediações da casa, apenas existem as restantes casa geminadas que se encontram do mesmo lado da rua, estando o alçado principal virado para a estrada nacional. As Figuras 47, 48 e 49 apresentam uma visão global da moradia do caso de estudo.

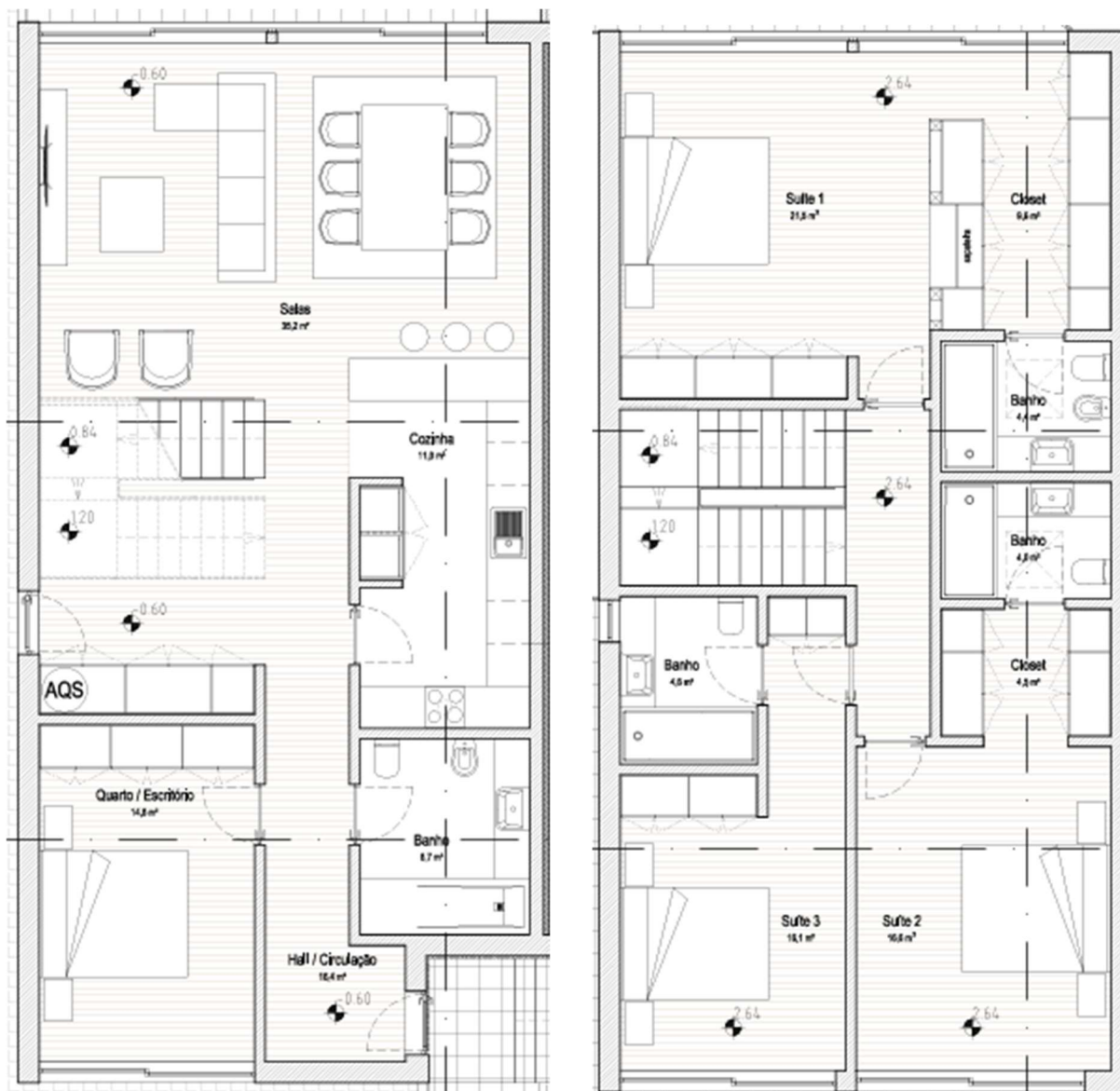


Figura 47. – Planta do piso 0 e do piso 1 do caso de estudo



Figura 48. – Alçado principal



Figura 49. – Alçado posterior

5.1.1. ANÁLISE DO MAPA DE VÃOS DO CASO DE ESTUDO

Após análise de mapa de vãos, conclui-se que existem 3 tipos de vãos envidraçados em projeto: fixos, portas/janelas de abrir e janelas de correr. A Figura 50 apresenta a distribuição dos vários tipos de vãos envidraçados pela moradia.



Figura 50. – Distribuição dos vários vãos envidraçados pela moradia

Para aplicação do modelo, teremos como base os vãos envidraçados do tipo de correr. Em termos de dimensões, os vãos Ve1 (Figura 51), Ve4 (Figura 52) e Ve6 (Figura 53) são similares, como mostra as Figuras 51, 52 e 53, sendo que o Ve1 é constituído por duas janelas iguais.

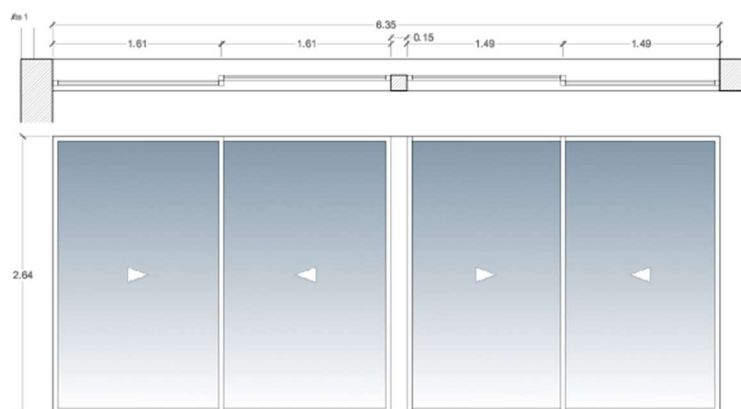


Figura 51. – Vão envidraçado de correr Ve1

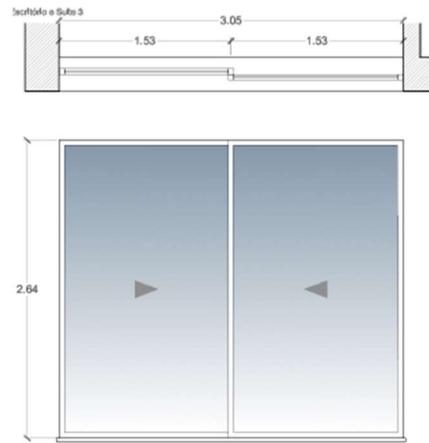


Figura 52. – Vão envidraçado de correr Ve4

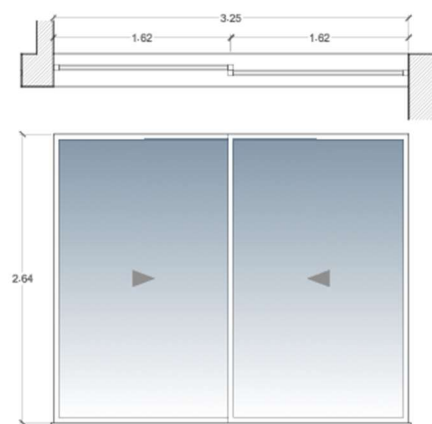


Figura 53. – Vão envidraçado de correr Ve6

O vão Ve1 encontra-se orientado a Sudeste, estando localizado no alçado posterior, enquanto os vãos Ve4 e Ve6 encontram-se orientados a Noroeste, estando localizados no alçado principal. Como Ve4 e Ve6 são praticamente iguais, apenas se fará uma aplicação para um deles

5.2. APLICAÇÃO

5.2.1. ZONAS CLIMÁTICAS

A moradia encontra-se no concelho de Miranda do Douro, Bragança, a uma altitude de 710m. Este é o ponto de partida para a aplicação do nosso modelo, sendo a base para o início dos cálculos necessários.

A Tabela nº 116 do Despacho 6476-H de 2021 [28] (Figura 54) faz a correspondência entre a NUTS III, com base no Decreto-Lei nº68/2008, de 14 de abril, e o concelho onde o edifício se localiza. Daí podemos retirar que Miranda do Douro pertence à região de Alto Trás-os-Montes.

Concelho	NUTS III
Marco de Canaveses	Tâmega
Marinha Grande	Pinhal Litoral
Marvão	Alto Alentejo
Matosinhos	Grande Porto
Mealhada	Baixo Mondego
Mêda	Beira Interior Norte
Melgaço	Minho-Lima
Mértola	Baixo Alentejo
Mesão Frio	Douro
Mira	Baixo Mondego
Miranda do Corvo	Pinhal Interior Norte
Miranda do Douro	Alto Trás-os-Montes
Mirandela	Alto Trás-os-Montes

Figura 54. – Região da NUTS III de Miranda do Douro

Desta forma, os valores de referência para o cálculo da zona climática de inverno são os presentes na Figura 55.

NUTS III	z_{REF} m	M		GD		$\theta_{ext,i}$		G_{sul} kWh/ (m ² .mês)
		M_{REF} meses	α mês/km	GD_{REF} °C	α °C/km	$\theta_{ext,i,REF}$ °C	α °C/km	
Alentejo Central	221	5,3	2	1 150	1 100	10,0	-4	150
Alentejo Litoral	88	5,3	2	1 089	1 100	10,8	-2	150
Algarve	145	4,8	0	987	1 800	11,3	-6	155
Alto Alentejo	246	5,3	2	1 221	1 200	9,6	-3	145
Alto Trás-os-Montes	680	7,3	0	2 015	1 400	5,5	-4	125
Ave	426	7,2	0	1 653	1 500	7,8	-6	125

Figura 55. – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento da região de Alto Trás-os-Montes

Por sua vez, os valores de referência para o cálculo da zona climática de verão são os presentes na Figura 56.

NUTS III	z_{REF} m	$\theta_{ext,v}$		G_{sol} [kWh/m ²]								
		$\theta_{ext,v,REF}$ °C	a °C/km	0° H	90° N	90° NE	90° E	90° SE	90° S	90° SO	90° O	90° NO
Alentejo Central	221	24,3	0	850	225	370	510	500	415	500	510	370
Alentejo Litoral	88	22,2	0	850	225	365	510	495	405	495	510	365
Algarve	145	23,1	0	865	225	375	515	500	405	500	515	375
Alto Alentejo	246	24,5	0	845	225	365	505	500	415	500	505	365
Alto Trás-os-Montes	680	21,5	-7	790	220	345	480	485	425	485	480	345
Ave	426	20,8	-3	795	220	350	490	490	425	490	490	350

Figura 56. – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de arrefecimento da região de Alto Trás-os-Montes

5.2.1.1. Cálculo da zona climática de Inverno

Usando a expressão de cálculo do número de graus-dia: [28]

$$GD = GD_{REF} + a(z - z_{REF}) = 2015 + 1400(0,710 - 0,680) = 2056 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (44)$$

A determinação da zona climática de Inverno estabelece-se segundo a Figura 57. [28]

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

Figura 57. – Classificação da zona climática de inverno

Desta forma estabelece-se que o edifício se encontra na Zona climática I3.

5.2.1.2. Cálculo da zona climática de Verão

Usando a expressão de cálculo da temperatura exterior do local em questão e os valores retirados da Figura 56 do Despacho 6476-H/2021[28], temos o valor para a classificação da zona climática de verão.

$$\theta_{ext,v} = \theta_{ext,v,REF} + a(z - z_{REF}) = 21,5 + (-7)(0,710 - 0,680) = 21,29 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (45)$$

A determinação da zona climática de Inverno estabelece-se segundo a seguinte Tabela da Portaria nº349-A/2013, de 29 de novembro: (Figura 58)

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

Figura 58. – Classificação da zona climática de verão

Podemos então concluir que a moradia que é objeto deste estudo se encontra na zona climática I3 e V2.

5.2.2. INÉRCIA TÉRMICA

Para calcular a inércia seríamos obrigados ao cálculo da massa superficial de cada elemento construtivo da envolvente, o que seria consumidor de muito tempo e, visto que não é objeto de estudo neste trabalho, utilizamos a forma mais simplificada para a determinação da classe de inércia térmica mencionada no Manual SCE, presente na Figura 59. [28]

Classe de Inércia	Soluções
Inércia Forte ($I_t = 475 \text{ kg/m}^2$)	Sem soluções de isolamento térmico pelo interior
	Pavimento e teto em betão armado ou pré-esforçado
	Revestimento de teto em estuque ou reboco
	Revestimento de piso cerâmico, pedra, parquet, alcatifa tipo industrial sem pelo, exceto pavimentos flutuantes
	Paredes de compartimentação em alvenaria com revestimentos de estuque ou reboco
	Paredes exteriores e interiores de alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco
Inércia Média ($I_t = 275 \text{ kg/m}^2$)	Caso não se verifiquem, cumulativamente, as soluções aplicáveis às classes de inércia Forte ou Fraca
Inércia Fraca ($I_t = 75 \text{ kg/m}^2$)	Teto falso em todas as divisões ou pavimento de madeira ou esteira leve (cobertura)
	Revestimento de piso tipo flutuante ou pavimento de madeira
	Paredes de compartimentação em tabique ou gesso cartonado ou sem paredes de compartimentação

Figura 59. – Regras de simplificação para determinação da classe de inércia térmica

Não se verificam nem os requisitos da inércia forte nem os requisitos da inércia fraca pelo que iremos considerar a inércia média.

5.2.3. REGIÃO DO TERRITÓRIO

A região do território é classificada como região B uma vez que o edifício se encontra a mais de 600 metros de altitude.

5.2.4. RUGOSIDADE AERODINÂMICA

O tipo de rugosidade aerodinâmica condiciona o perfil traçado pela velocidade do vento. De modo a definir qual o tipo de rugosidade, é necessário analisar o mapa topográfico da região de Miranda do Douro, apresentado pela Figura 60.

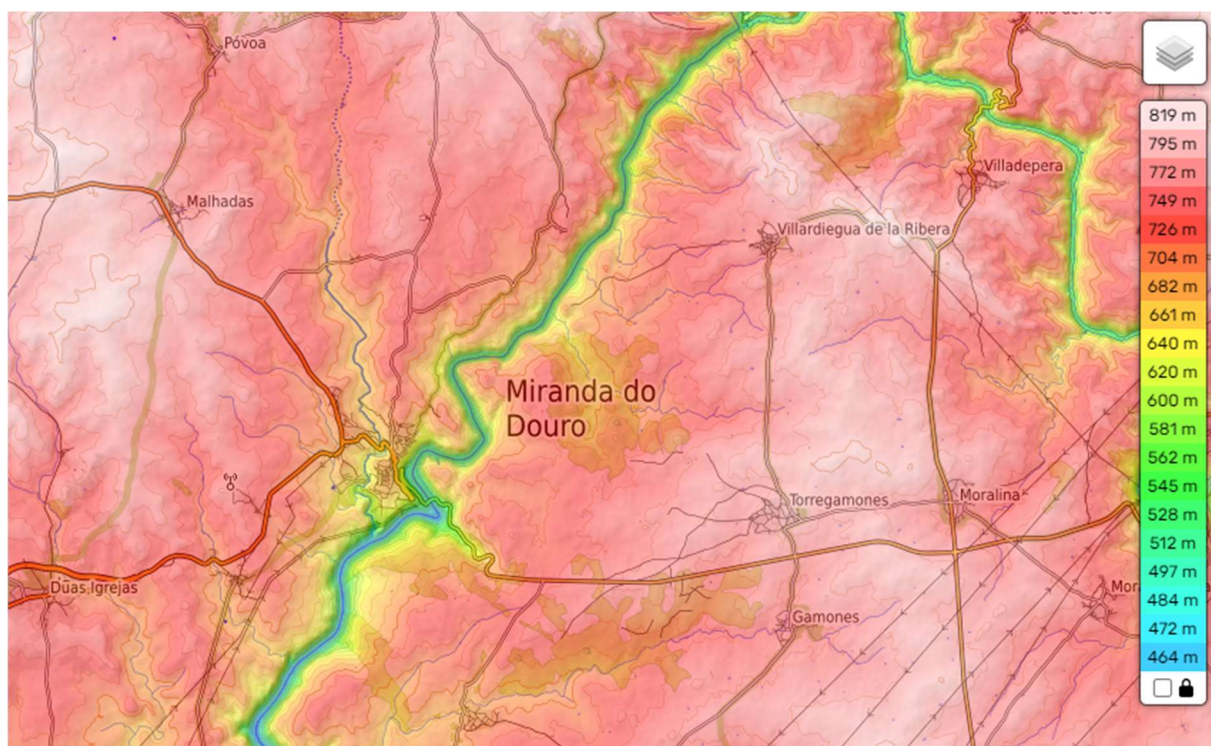


Figura 60. – Mapa topográfico da região de Miranda do Douro [52]

5.2.5. ALTURA ACIMA DO SOLO

A altura acima do solo considerada é a do vão envidraçado do primeiro piso, uma vez que, para escolha do vão envidraçado de forma a serem todos iguais, deve-se dimensionar para o pior cenário tendo em conta que, quanto maior a altura acima do solo, maior a solicitação. A altura dos vãos envidraçados Ve4 e Ve6 (medida desde a cota do solo até ao centro da janela e considerando um desnível de 0.50m da cota da estrada até à cota do solo da moradia, é de 4,59 metros. (Figura 61)

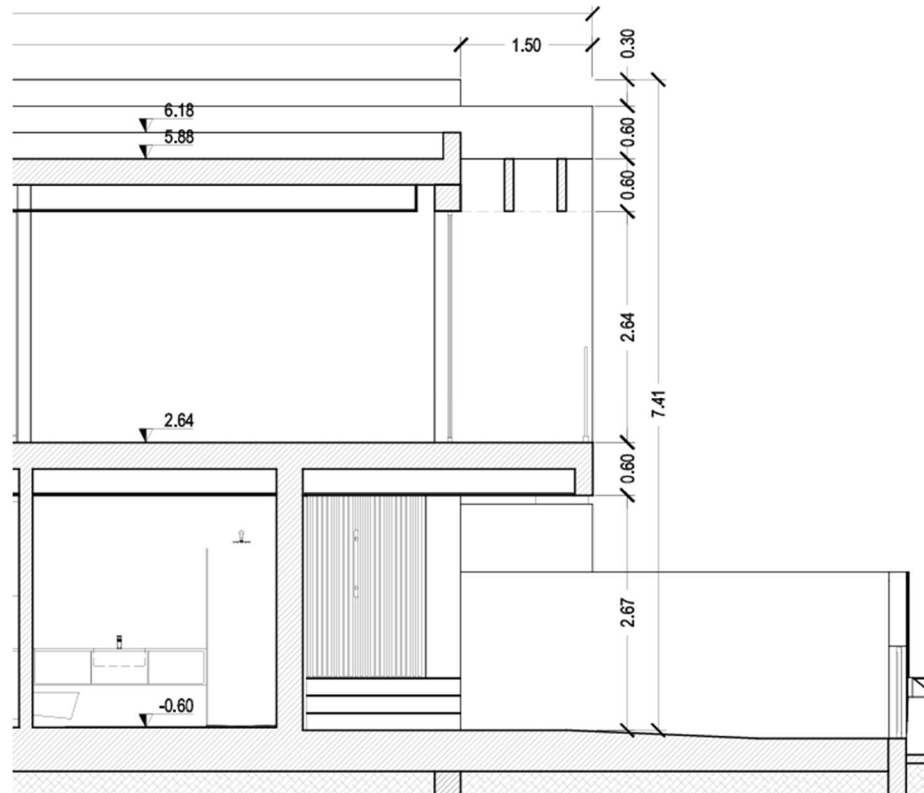


Figura 61. – Corte com cotas do projeto do caso de estudo

5.2.6. TIPO DE FACHADA

A Figura 62 é uma foto retirada do google street view e mostra a vista da casa pelo alçado frontal. Como se pode observar, não existe nenhum obstáculo ou construção que influencie ou bloqueie a trajetória do vento pelo que se considera uma fachada não abrigada.



Figura 62. – Vista pelo Google street view da localização do caso de estudo

5.2.7. APLICAÇÃO DO MODELO – SOLUÇÃO BASE

Primeiramente, é necessário definir qual o nível de qualidade pretendido pelo projetista, arquiteto ou dono de obra. Vamos assumir que se pretende atingir o nível médio.

Para aplicação do modelo, não será feita a verificação de resistência ao choque térmico.

Conforme mencionado no subcapítulo 5.2.1.2., a moradia encontra-se numa zona climática de inverno I3 e de verão V2, para além de ter uma inércia térmica média, pelo que a Tabela 23, fica reduzida à Tabela 25.

Tabela 25 – Exigências mínimas a satisfazer

Níveis de qualidade						Valor
Coeficiente de transmissão térmica $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Zona climática		N otimizado	N médio	N mínimo	
	I1		<1,2	1,2-2,0	2,0-2,8	
	I2		<1,1	1,1-2,0	2,0-2,4	
	I3		<1,0	1,0-1,8	1,8-2,2	
Fator solar	Zona climática	Inércia térmica	N otimizado	N médio	N mínimo	
	V1 e V2	Fraca V1	<0,05	0,05-0,10	0,15-0,10	
		Fraca V2	-	<0,05	0,10-0,05	
		Média	<0,25	0,50-0,25	0,56-0,50	
		Forte	<0,25	0,50-0,25	0,56-0,50	
	V3	Fraca	-	<0,05	0,10-0,05	
		Média	<0,10	0,35-0,10	0,50-0,35	
		Forte	<0,10	0,35-0,10	0,50-0,35	
Isolamento aos sons aéreos (dB)			N otimizado	N médio	N mínimo	
			>40	35-40	33-35	
Transmissão luminosa (%)			N otimizado	N médio	N mínimo	
			>0,70	0,70-0,45	0,44-0,15	
Níveis de verificação						Valor
Resistência ao choque térmico		$\delta\theta \leq \delta\theta_{adm}$			$\delta\theta_{adm}$	
					$\delta\theta$	
Permeabilidade ao ar		Classe Tabela 20 $\leq$ Classe VE			Tabela 20	
					Classe VE	
Estanquidade à água		Classe Tabela 21 $\leq$ Classe VE			Tabela 21	
					Classe VE	
Resistência ao vento		Classe Tabela 22 $\leq$ Classe VE			Tabela 22	
					Classe VE	

5.2.7.1. Coeficiente de transmissão térmica

Considerando o nível médio, partimos da base que os valores do coeficiente de transmissão térmica tanto do vidro como da caixilharia têm de se situar entre 1,0 e 1,8, pelo que se optou pelo valor médio de 1,4. Desta forma, a busca no mercado bem como a consulta de fichas técnicas dão-nos as soluções das Figuras 63 e 64.



Figura 63. – Tipo de caixilho da solução base

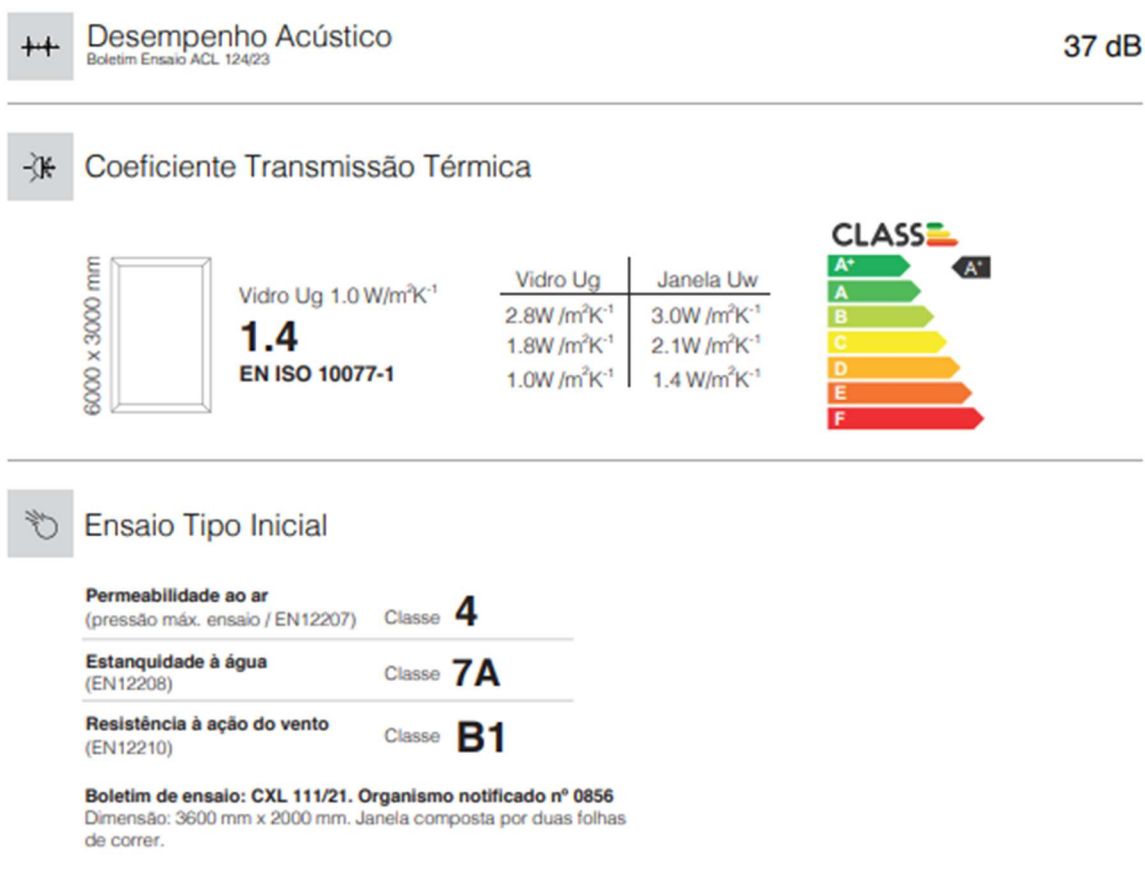


Figura 64. – Características técnicas do caixilho [53]

Conforme mostra a imagem, temos que para um vidro com coeficiente de transmissão térmica de 1.0, temos que o conjunto vidro+caixilho fica com um coeficiente de transmissão térmica de 1.4, pelo que se enquadra no intervalo do nível médio. Desta forma, a opção tomada para o vidro é a da Figura 65.



Figura 65. – Solução base para o vidro [54]

5.2.7.2. Fator solar

O fator solar é uma exigência dependente do vidro e da proteção solar. Neste caso, não existem dispositivos de proteção solar. Pela Figura 65 podemos analisar que o fator solar é de 40% pelo que se enquadra no nível médio.

5.2.7.3. Transmissão luminosa

Como se pode observar, a transmissão luminosa é de 74% pelo que se enquadra no nível médio.

5.2.7.4. Isolamento aos sons aéreos

O valor de Rw do vidro é de 38dB e o do caixilho é de 37dB, tendo-se adotado o de 37dB.

5.2.7.5. Permeabilidade ao ar, estanquidade à água e resistência ao vento

Considerando uma fachada não abrigada, numa região de tipo B, num edifício com rugosidade aerodinâmica do tipo II, e a uma cota de 4,59 metros que, sendo o mínimo das Tabelas é a cota 10 metros, será esta a adotar para o modelo, o que resulta nas classes de permeabilidade ao ar,

estanquidade à água e resistência ao vento a cumprir, presentes nas Tabelas 26, 27 e 28, respetivamente.

Tabela 26 – Classe de Permeabilidade ao ar do caso de estudo

Cota	Fachadas abrigadas	Fachadas não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
10	1	1	2	2	1	2	2
15	1	1	2	2	1	2	2
18	1	1	2	2	1	2	3
28	1	1	2	2	2	2	3
40	-	2	2	3	2	2	3

Tabela 27 – Classe de Estanquidade à água do caso de estudo

Cota	Fachadas abrigadas	Fachadas não abrigadas					
		Região A			Região B		
	I e II	I	II	III	I	II	III
10	2	3	3	5	3	4	6
15	2	3	4	6	3	4	7
18	3	3	4	6	3	5	7
28	3	3	5	7	4	6	7
40	-	4	5	7	4	6	7

Tabela 28 – Classe de Resistência ao vento do caso de estudo

Cota	Fachadas abrigadas	Fachadas não abrigadas					
		Região A			Região B		
		I e II	I	II	III	I	II
10	2	2	3	4	3	3	4
15	2	2	3	4	3	4	5
18	2	2	3	4	3	4	5
28	2	3	5	4	3	4	5
40	-	3	4	5	4	5	B

5.2.8. RESULTADO DA APLICAÇÃO – SOLUÇÃO BASE

Tabela 29 – Modelo de seleção exigencial para a solução base

Níveis de qualidade						Valor
Coeficiente de transmissão térmica $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Zona climática		N otimizado	N médio	N mínimo	
	I1		<1,2	1,2-2,0	2,0-2,8	
	I2		<1,1	1,1-2,0	2,0-2,4	
	I3		<1,0	1,0-1,8	1,8-2,2	1,4
Fator solar	Zona climática	Inércia térmica	N otimizado	N médio	N mínimo	
	V1 e V2	Fraca V1	<0,05	0,05-0,10	0,15-0,10	
		Fraca V2	-	<0,05	0,10-0,05	
		Média	<0,25	0,50-0,25	0,56-0,50	0,4
		Forte	<0,25	0,50-0,25	0,56-0,50	
	V3	Fraca	-	<0,05	0,10-0,05	
		Média	<0,10	0,35-0,10	0,50-0,35	
		Forte	<0,10	0,35-0,10	0,50-0,35	
Isolamento aos sons aéreos (dB)			N otimizado	N médio	N mínimo	
			>40	35-40	33-35	37
Transmissão luminosa (%)			N otimizado	N médio	N mínimo	
			>0,70	0,70-0,45	0,44-0,15	0,74
Níveis de verificação						Valor
Permeabilidade ao ar		Classe Tabela 20 ≤ Classe VE			Tabela 20	2
					Classe VE	4
Estanquidade à água		Classe Tabela 21 ≤ Classe VE			Tabela 21	4
					Classe VE	7A
Resistência ao vento		Classe Tabela 22 ≤ Classe VE			Tabela 22	3
					Classe VE	B1

Tabela 30 – Resultados do modelo de seleção exigencial para a solução base

Exigências	Nível		
	Mínimo	Médio	Otimizado
Coef. de trans. térmica, U ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)		OK	
Fator Solar, g		OK	
Transmissão luminosa, TI(%)			OK
Isolamento aos sons aéreos, Rw (dB)		OK	
Exigências	Nível		
	0		1
Permeabilidade ao ar			OK
Estanquidade à água			OK
Resistência ao vento	KO		

Como podemos observar pela Tabela 30, o vão envidraçado escolhido não verifica a exigência funcional resistência ao vento, apresentando um valor mais baixo do que o estabelecido na Tabela 29. Desta forma, é necessário encontrar outra solução para os vãos envidraçados.

5.2.9. APLICAÇÃO DO MODELO – SOLUÇÃO CORRIGIDA

A resistência ao vento é uma exigência relativa à perfilaria escolhida para o caixilho. Assim, a Figura 66 apresenta uma nova solução.



4200 CORRER

RPT

COEFICIENTE TÉRMICO

Coeficiente Térmico U_w desde 1,5 (W/m²K)
Consultar tipologia, dimensão e vidro.

ISOLAMENTO ACÚSTICO

Máximo envidraçamento: 26 mm.
Máximo isolamento acústico: $R_w = 39$ dB.

CATEGORIAS EM BANCO DE ENSAIOS
Proteção contra agentes atmosféricos.

Permeabilidade ao ar [EN 12207:2000]:	Classe 3
Estanquidade à água [EN 12208:2000]:	Classe 7A
Resistência ao vento [EN 12210:2000]:	Classe C5

Ensaio de referência 1,20 x 1,20 m 2 folhas.

Figura 66. – Solução corrigida para o caixilho

Alterando apenas o caixilho, os valores de transmissão luminosa e fator solar mantêm-se os mesmos.

5.2.9.1. Coeficiente de transmissão térmica

O valor do coeficiente de transmissão térmica é adotado é então de 1,5 conforme mostra a ficha técnica desta janela (Figura 66).

5.2.9.2. Isolamento aos sons aéreos

O valor de R_w do vidro mantém-se a 38dB e o do caixilho é agora de 39dB, tendo-se adotado o de 38dB.

5.2.9.5. Permeabilidade ao ar, estanquidade à água e resistência ao vento

A Figura 67 mostra os valores de cada exigência deste subcapítulo que o caixilho apresenta.

Permeabilidade ao ar [EN 12207:2000]:	Classe 3
Estanquidade à água [EN 12208:2000]:	Classe 7A
Resistência ao vento [EN 12210:2000]:	Classe C5

Figura 67. – Classe de permeabilidade ao ar, estanquidade à água e resistência ao vento do caixilho

5.2.10. RESULTADO DA APLICAÇÃO – SOLUÇÃO CORRIGIDA

Tabela 31 – Modelo de seleção exigencial para a solução corrigida

Níveis de qualidade						Valor
Coeficiente de transmissão térmica $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Zona climática		N otimizado	N médio	N mínimo	
	I1		<1,2	1,2-2,0	2,0-2,8	
	I2		<1,1	1,1-2,0	2,0-2,4	
	I3		<1,0	1,0-1,8	1,8-2,2	1,5
Fator solar	Zona climática	Inércia térmica	N otimizado	N médio	N mínimo	
	V1 e V2	Fraca V1	<0,05	0,05-0,10	0,15-0,10	
		Fraca V2	-	<0,05	0,10-0,05	
		Média	<0,25	0,50-0,25	0,56-0,50	0,4
		Forte	<0,25	0,50-0,25	0,56-0,50	
	V3	Fraca	-	<0,05	0,10-0,05	
		Média	<0,10	0,35-0,10	0,50-0,35	
		Forte	<0,10	0,35-0,10	0,50-0,35	
Isolamento aos sons aéreos (dB)			N otimizado	N médio	N mínimo	
			>40	35-40	33-35	38
Transmissão luminosa (%)			N otimizado	N médio	N mínimo	
			>0,70	0,70-0,45	0,44-0,15	0,74
Níveis de verificação						Valor
Permeabilidade ao ar		Classe Tabela 20 ≤ Classe VE			Tabela 20	2
					Classe VE	3
Estanquidade à água		Classe Tabela 21 ≤ Classe VE			Tabela 21	4
					Classe VE	7A
Resistência ao vento		Classe Tabela 22 ≤ Classe VE			Tabela 22	3
					Classe VE	C5

Tabela 32 – Resultados do modelo de seleção exigencial para a solução corrigida

Exigências	Nível		
	Mínimo	Médio	Otimizado
Coef. de trans. térmica, U ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)		OK	
Fator Solar, g		OK	
Transmissão luminosa, TI(%)			OK
Isolamento aos sons aéreos, Rw (dB)		OK	
Exigências	Nível		
	0		1
Permeabilidade ao ar			OK
Estanquidade à água			OK
Resistência ao vento			OK

Como podemos observar pela Tabela 32, o vão envidraçado escolhido atinge o nível pretendido e chega a atingir o otimizado para a exigência isolamento aos sons aéreos. Para além disso, verifica todas as condições das exigências estudadas.

5.3. SÍNTESE DO CAPÍTULO 5

Neste capítulo foi apresentado um caso de estudo baseado num caso real, introduzindo todos os dados necessários à aplicação do modelo, tais como, localização e tipo de vãos envidraçados, entre outros. Permitiu-se assim o início da aplicação com a análise de dados base, sendo eles, as zonas climáticas, inércia térmica, região do território, rugosidade aerodinâmica das fachadas, altura acima do solo, e ainda, o tipo de fachada.

Procedeu-se à escolha dos vãos envidraçados através de uma pesquisa pelas soluções existentes no mercado que se enquadrassem no nível médio definido do modelo. A primeira solução apresentou melhor valor de coeficiente de transmissão térmica e pior valor de isolamento aos sons aéreos. No entanto, não foi capaz de cumprir a exigência resistência ao vento. A solução apresentou uma nova perspetiva e mostrou ser válida para o caso de estudo desta dissertação.

6

CONCLUSÃO

6.1. SÍNTESE DA ABORDAGEM

A presente dissertação define um modelo de seleção exigencial de vãos envidraçados devidamente fundamentado e justificado, cumprindo-se assim o objetivo principal desta tese através da análise detalhada dos componentes de um caixilho, e ainda, de uma extensa fundamentação para as exigências e para os caminhos que foram adotados para cada uma.

O conhecimento técnico e legal proveniente do capítulo 3 permitiu formar uma base sólida e devidamente fundamentada para a criação do modelo de seleção exigencial no capítulo seguinte.

Por fim, a aplicação do modelo no capítulo 5 permite perceber a importância deste tipo de trabalho, no sentido de tornar mais eficiente o processo de escolha de qualquer tipo de material de construção (uma vez que este tipo de metodologia também pode ser realizado para outros componentes e materiais de uma obra de construção civil).

Pessoalmente, na minha carreira profissional que venho a desenvolver no último ano, uma das razões pela qual levou mais algum tempo na conclusão desta dissertação, este modelo de seleção exigencial de vãos envidraçados já me deu auxílio na escolha de vãos envidraçados para uma obra, no sentido que eu pude apresentar ao cliente duas soluções, com os respetivo orçamentos, de maneira a conseguir vender o produto mais eficiente e que melhor se enquadrava para aquele caso específico, sem aumentar brutalmente os custos da obra.

6.2. TRABALHOS FUTUROS

O modelo de seleção exigencial de vãos envidraçados tem algumas limitações pelo que em desenvolvimentos futuros deve-se procurar:

- Aumentar o tamanho da amostra de dados de mercado, fazendo um estudo mais aprofundado sobre os mesmos, de maneira a criar intervalos com melhor definição;
- Ampliar o escopo do modelo, de maneira a incluir outros tipos de janelas/portas;
- Explorar outros tipos de exigências não incluídas neste trabalho, como resistência ao fogo e condensações;
- Realizar mais testes em casos reais de maneira a validar experimentalmente o modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Asif, T.M., & Kubie, J. (2005). Sustainability analysis of window frames. Building Serv. Eng. Res. Technol. 26,1, 71-87 .
https://www.researchgate.net/publication/228954617_Sustainability_analysis_of_window_frames
- [2] Ramos, R. J. S. C. (2016). Previsão da vida útil de revestimentos exteriores de coberturas inclinadas. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Construção e Reabilitação. Técnico Lisboa
- [3] Resende, D.C.R. (2020). Controlo e melhoria da qualidade num processo de produção de caixilharia. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão da Qualidade. Universidade do Minho. <https://core.ac.uk/download/pdf/304593433.pdf>
- [4] <http://www.hiperjanelas.pt/produtos2.php?fam=100&fam2=101&fam3>
- [5] Barbosa, L. C. F. (2010). Controlo de qualidade em caixilharias de alumínio. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Aveiro: Universidade de Aveiro. <http://ria.ua.pt/handle/10773/3859>
- [6] <https://www.finstral.com/pt/home/1-0.html>
- [7] Berge, B. (2001). The ecology of building materials. Oxford, UK: Architectural Press.
- [8] <http://www.rocae.pt/pt/produtos/caixilharia-em-aluminio>
- [9] <https://perfilider.pt/conteudo/produtos/caixilharia/caixi-sistemas-batente-aco/janisol-primo>
- [10] Costa, I. A. (2013). Estudo da durabilidade de caixilharias. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia do Porto.
- [11] Pinto, A. (2010). Componentes de edifícios.Aspectos de segurança e resistência mecânica do vidro. Informação Técnica de Edifícios 52. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- [12] Cavaleiro, M.F. (2011). Dimensionamento Térmico e Mecânico de Vidros. FEUP.
- [13] <https://www.sapa-portugal.pt/janela-sapa/janelasapa/>
- [14] Rocha, D.C. da (2016). Dimensionamento térmico e mecânico de vidros – choque térmico. Dissertação em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- [15] Granito, V.M.G. (2019). O Vidro na Indústria da Construção. Dissertação de Mestrado. Universidade Aberta.
- [16] Diogo, A. C. (2012). Sistemas Envidraçados Com e Sem Proteção Solar. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/85487/2/145061.pdf>

- [17] Freitas, V. (2019) Vãos Envidraçados. Apresentação de PPT
- [18] Dimitriou, S., Kyprianou, I., Papanicolas, C. N., & Serghides, D. (2020). A new approach in the refurbishment of the office buildings – from standard to alternative nearly zero energy buildings. *International Journal of Sustainable Energy*, 39(8), 761–778. <https://doi.org/10.1080/14786451.2020.1749629>
- [19] Amirkhani, S., Bahadori-Jahromi, A., Mylona, A., Godfrey, P., & Cook, D. (2019). Impact of Low-E Window Films on Energy Consumption and CO₂ Emissions of an Existing UK Hotel Building. *Sustainability*, 11(16), 4265. <https://doi.org/10.3390/su11164265>
- [20] Sacht, H.M., Bragança, L., Almeida, M., & Caram, R. (2021). Specification of Glazings for Façades Based on Spectrophotometric Characterization of Transmittance. *Sustainability*, 13, 5437. <https://doi.org/10.3390/su13105437>
- [21] Oliveira, A.M.F.F. de (2003). Sistemas tradicionais de colocação de vidro em obra, FEUP, Curso de pós-graduação em construção de edifícios.
- [22] Santos, A.J.C. (2012). Sistema de inspeção e diagnóstico de caixilharias. Dissertação de Mestrado. Insituto Superior Técnico. Lisboa.
- [23] Gomes, C. P. (2017). Avaliação dos Custos de Ciclo de Vida de Vãos Envidraçados. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa.
- [24] Andrade, L.G. (2021). Desenvolvimento de um manual de soluções construtivas de envidraçados. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Projeto Integrado na Construção de Edifícios. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/135250/2/485925.pdf>
- [25] ANFAJE 2018 (https://anfaje.pt/choocimo/2020/05/ANFAJE_Newsletter_N16_Jan-Fev-Mar_red.pdf)
- [26] Chaves, F. (2003). Inovação na Indústria da Caixilharia. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.
- [27] Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU, 1951)
- [28] SCE -Portaria 138-I – Despacho 6476-H de 2021;
- [29] Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE, 2008)
- [30] Santos, C.A. Pina dos, Matias, L. Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, LNEC, Informação Técnica Edifícios ITE 50, Lisboa, 2006.
- [31] Viegas, João Carlos 2012, ITE 51, Componentes de Edifícios, Seleção de caixilharia e seu dimensionamento mecânico, 6ª Edição, LNEC, Lisboa.

- [32] Norma portuguesa NP EN 14351-1:2008 +A1: 2011
- [33] EN 12221
- [34] EN 1027
- [35] EN 1026
- [36] EN 14609
- [37] EN ISO 12567-1 (ensaio) EN 10077-1 (cálculo)
- [38] EN ISO 140-3 (ensaio) NP EN 14351-1+A1 (cálculo)
- [39] Portaria n.º 138-I/2021, de 1 de julho. : Diário da República n.º 126/2021, 2º Suplemento, Série I de 2021-07-01, páginas 12 – 53
- [40] Manual do Vidro. Saint-Gobain Glass Portugal, 2000.
- [41] Despacho n.º 6476-H/2021, de 1 de julho. Diário da República n.º 126/2021, 2º Suplemento, Série II de 2021-07-01, páginas 66 – 316
- [42] Adene - Guia SCE – Parâmetros de Cálculo Direção-Geral de Energia e Geologia, 2020.
- [43] Diário da República n.º 129/2002, Série I-A de 2002-05-11 – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.
- [44] Patrício, J. (2008). Acústica de Edifícios. Verlag Dashofer
- [45] Vasconcelos, J. D. (2017). Desempenho acústico de soluções construtivas. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- [46] Cougnard-Gregoire A, Merle BMJ, Aslam T, Seddon JM, Akinin I, Klaver CCW, Garhöfer G, Layana AG, Minnella AM, Silva R, Delcourt C. Blue Light Exposure: Ocular Hazards and Prevention- A Narrative Review. *Ophthalmol Ther.* 2023 Apr;12(2):755-788. doi: 10.1007/s40123-023-00675-3
- [47] Veríssimo, B.M.L. (2019). Influência dos vãos envidraçados no desempenho térmico de edifícios de habitação. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- [48] EN 12207, 1999
- [49] EN 12208, 1999
- [50] Carlos A. Pina dos Santos, Luis Matias (2023). ITE 50 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. ISBN: 9789724920658
- [51] Ferreira, A. (2007). *Soluções técnicas para isolamento sonoro de edifícios de habitação*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa.

[52] <https://pt-pt.topographic-map.com/map-lm914/Miranda-do-Douro/?center=41.50883%2C-6.27182&base=2>

[53] <https://www.extrusal.pt/api/documentos/download?hash=41223782-95eb-43d3-a433-22062a67200e&idArtigo=2175&idioma=pt>

[54] Software Calumen II - version 1.1.1. Saint-Gobain Glass, 2024.