

RESISTÊNCIA AO VENTO DE CAIXILHARIAS DE ALUMÍNIO — COMPARAÇÃO ENTRE SIMULAÇÃO NUMÉRICA E CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL

HÉLDER RICARDO CORREIA TAVARES MARTINS

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

Orientador: Professor Doutor Hipólito José Campos de Sousa

JUNHO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@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

Fax +351-22-508 1440

✉ 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 Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo 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 electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

À minha família e amigos

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho apresenta-se como uma conquista individual. No entanto, sem a ajuda de determinadas pessoas, a sua conclusão não seria possível e, por isso, seria uma grande falha da minha parte não lhes poder agradecer.

Ao Professor Doutor Hipólito Sousa, professor na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), por todo o apoio, tempo e empenho dedicado à orientação deste trabalho, bem como na partilha da sua experiência como Engenheiro.

Ao Eng. Rui Sousa do Laboratório de Sistemas e Componentes (LSC), pela disponibilidade e ajuda prestada para a realização deste trabalho.

Ao Eng. Ricardo, da empresa Extrusal, por me ter recebido e ter partilhado informação preciosa para o desenvolvimento desta dissertação.

A todos os meus amigos que me apoiaram incondicionalmente na realização deste trabalho e ao longo destes 5 últimos anos, proporcionando momentos de grande alegria e companheirismo.

Aos meus pais por me terem proporcionado a lição de vida que é estudar na FEUP.

RESUMO

As caixilharias têm tido um papel cada vez mais importante na definição da envolvente dos edifícios e, como tal, merecem ser alvo de um estudo e conhecimento mais aprofundado. A evolução e desafios da arquitectura actual obrigam a que estes componentes estejam em constante actualização, respondendo aos diversos desafios que lhes são colocados, sem nunca comprometer as exigências que lhes são impostas pelos utilizadores.

Este trabalho tem em vista um estudo do comportamento estrutural das caixilharias baseado numa comparação entre modelos numéricos e resultados dos ensaios disponíveis realizados em laboratório.

O estudo incorpora uma análise dos principais tipos de caixilharias existentes no mercado assim como dos materiais mais utilizados na sua realização, atribuindo-lhes estas diferentes características. As exigências são importantes para garantir a habitabilidade dos espaços interiores e assim contribuir para a qualidade de vida dos ocupantes. Como se pretende estudar este componente numa perspectiva estrutural de resistência ao vento, é de todo o interesse efectuar um estudo do processo de dimensionamento, nomeadamente da acção do vento em edifícios e do processo de quantificação das propriedades geométricas dos perfis. Por último os modelos foram submetidos a uma análise que denunciou as principais dificuldades na modelação estrutural de caixilharias, nomeadamente a representação da ligação entre perfis e a quantificação da resistência que o vidro confere a estes elementos, permitiu retirar conclusões e sugerir medidas que visam a melhoria da performance estrutural destas. A variedade de soluções e a diversidade de dimensões dos vãos permitem várias soluções alternativas a nível estrutural e dificultam a tipificação das caixilharias.

De maneira a ajudar o pré-dimensionamento destes elementos foram sugeridas vários sistemas que, a partir das dimensões dos vãos e através de uma consulta simples, permitem a obtenção das propriedades geométricas dos perfis.

PALAVRAS CHAVE: Caixilharias, importância, estrutural, modelação, ensaios

ABSTRACT

The window frames have been having an increasingly important role in defining the buildings facades and, therefore, deserve to be the subject of further study. The evolution and the challenges of the actual architecture requires that these components are under constant update in response to the various challenges posed to them, without ever compromising the requirements imposed by users.

This dissertation aims to study the structural behavior of the window frames based on a comparison of numerical models and results of laboratory experimenting.

The study incorporates an analysis of the window frames main types available on the market as well as most of the materials used in their design, assigning them to specific behaviors. The requirements are important to ensure the habitability of the interior spaces and thereby contributing to the occupants life quality. Since we intend to analyze this component in a structural perspective of wind resistance, it is of all interest study the design process, namely the wind action on buildings and the process of quantifying the geometric properties of the profiles.

Finally, the models were subjected to an analysis that reported the main difficulties in structural modeling of frames, namely the representation of the profiles links and quantification of the resistance given to this elements by glass, allowed to draw conclusions and suggest measures to improve the frames structural performance. Different solutions and various sizes of openings provide structural diversity and hinder the characterization of window frames.

In order to help the pre-scaling of these elements, several systems were suggested that, through the dimensions of the openings and a simple consultation, allow the retrieval of the geometric properties of the profiles.

KEYWORDS: window frames, importance, structural, modelling, lab results

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.2. OBJECTIVOS DO TRABALHO	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	2
2. IMPORTÂNCIA DAS CAIXILHARIAS	5
2.1. SOLUÇÕES CORRENTES DE CAIXILHARIAS	5
2.1.1. JANELA FIXA	7
2.1.2. JANELA DE BATENTE, COM ABERTURA PARA O INTERIOR	7
2.1.3. JANELA DE BATENTE COM ABERTURA PARA O EXTERIOR	8
2.1.4. JANELA PIVOTANTE DE EIXO VERTICAL	8
2.1.5. JANELA PIVOTANTE DE EIXO HORIZONTAL	9
2.1.6. JANELA DE GUILHOTINA	9
2.1.7. JANELA DE CORRER	10
2.1.8. JANELA OSCILO-PARALELA	11
2.1.9. JANELA ELEVADORA DE CORRER	12
2.1.10. JANELA DE EIXO VERTICAL DESLIZANTE, COM ABERTURA PARA O EXTERIOR	12
2.1.11. JANELA À ITALIANA	13
2.1.12. JANELA OSCILO-BATENTE	13
2.1.13. JANELA BASCULANTE	14
2.1.14. JANELA PROJECTANTE	14
2.1.15. JANELA PIVOTANTE MÚLTIPLA	15
2.1.16. JANELA ACORDEÃO	15
2.2. MATERIAIS MAIS UTILIZADOS EM CAIXILHARIAS	16
2.2.1. CAIXILHARIAS EM PVC	16
2.2.2. CAIXILHARIAS EM MADEIRA	16
2.2.3. CAIXILHARIAS EM AÇO GALVANIZADO	17

2.2.4. CAIXILHARIAS EM ALUMÍNIO	17
2.2.5. CAIXILHARIAS DE POLIURETANO	17
2.2.6. CAIXILHARIAS DE FIBRA DE VIDRO.....	17
2.2.7. CAIXILHARIAS MISTAS	17
2.2.8. CAIXILHARIA MISTA MADEIRA/ALUMÍNIO.....	18
2.2.9. CAIXILHARIA MISTA MADEIRA/CORTIÇA.....	18
2.2.10. CAIXILHARIA MISTA MADEIRA/FIBRA-DE-VIDRO.....	18
2.2.11. VIDRO.....	21
2.2.11.1. Propriedades ópticas	22
2.2.11.2. Propriedades térmicas	22
2.2.11.3. Propriedades acústicas	23
2.2.11.4. Propriedades mecânicas	24
2.2.12. ACESSÓRIOS	24
2.3. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO APLICÁVEIS A CAIXILHARIAS	25
2.3.1. ESTABILIDADE.....	25
2.3.1.1. Resistência ao vento	25
2.3.1.2. Resistência ao choque de corpos sólidos	25
2.3.1.3. Resistência mecânica.....	26
2.3.2. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS	26
2.3.2.1. Resistência ao fogo	26
2.3.2.2. Reacção ao fogo.....	26
2.3.3. SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO.....	29
2.3.3.1. Operações de manobra.....	29
2.3.4. SEGURANÇA DOS OCUPANTES	30
2.3.4.1. Resistência mecânica dos dispositivos de segurança	30
2.3.4.2. Resistência à intrusão	30
2.3.4.3. Resistência à bala	30
2.3.4.4. Resistência à explosão.....	31
2.3.5. ESTANQUIDADE.....	31
2.3.5.1. Permeabilidade ao ar	31
2.3.5.2. Estanquidade à água.....	32
2.3.6. CONFORTO HIGROTÉRMICO	32
2.3.6.1. Isolamento térmico	32

2.3.6.2. Transmissão da energia luminosa	33
2.3.6.3. Condensações	33
2.3.7. AMBIENTE ATMOSFÉRICO	34
2.3.7.1. Ventilação.....	34
2.3.8. CONFORTO ACÚSTICO	35
2.3.8.1. Isolamento aos ruídos aéreos exteriores	35

3. SÍNTESE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS.....39

3.1. DESCRIÇÃO SUCINTA DOS ENSAIOS	39
3.2. RESULTADOS DOS ENSAIOS	39
3.2.1. ENSAIO DE PERMEABILIDADE AO AR	40
3.2.2. ENSAIO DE ESTANQUIDADE À ÁGUA	42
3.2.3. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À DEFORMAÇÃO	44

4. DIMENSIONAMENTO

4.1. DEFINIÇÃO DA ACÇÃO DO VENTO	49
4.1.1. CÁLCULO DA ACÇÃO DO VENTO.....	49
4.1.1.1. Velocidade base do vento	49
4.1.1.2. Velocidade média do vento	50
4.1.1.3. Turbulência do vento.....	52
4.1.1.4. Pressão dinâmica de pico	52
4.1.1.5. Coeficiente estrutural	53
4.1.1.6. Coeficiente de pressão exterior	55
4.1.1.7. Coeficiente de pressão interior	55
4.1.1.8. Altura de referência exterior	56
4.1.1.9. Altura de referência interior	57
4.1.1.10. Pressão e força do vento	57
4.2. TIPIFICAÇÃO ESTRUTURAL DAS CAIXILHARIAS	59
4.3. ESFORÇOS E VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE	71
4.3.1. DEFORMAÇÃO.....	71
4.3.2. RESISTÊNCIA	72
4.3.3. QUANTIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DAS SECÇÕES	74

4.4. EXEMPLO DE MODELAÇÃO ESTRUTURAL DE JANELAS	76
4.4.1. JANELA DE BATER COM DUAS FOLHAS MÓVEIS.....	77
4.4.1.1. Pressões positivas.....	78
4.4.1.2. Pressões negativas	79
4.4.2. JANELA OSCILO-BATENTE DE DUAS FOLHAS (1 MÓVEL E 1 FIXA)	79
4.4.2.1. Pressões positivas.....	80
4.4.2.2. Pressões negativas	81
4.4.3. JANELA OSCILO-PARALELA DE DUAS FOLHAS (1 MÓVEL E 1 FIXA).....	82
4.4.3.1. Pressões positivas.....	82
4.4.3.2. Pressões negativas	83
4.4.4. JANELA OSCILO-BATENTE DE DUAS FOLHAS MÓVEIS	84
4.4.4.1. Pressões positivas.....	85
4.4.4.2. Pressões negativas	86
 5. ANÁLISE DE RESULTADOS	 87
5.1. ANÁLISE E EXPLORAÇÃO DE RESULTADOS	87
5.2. OPTIMIZAÇÃO DOS MODELOS.....	89
5.2.1. ANÁLISE DA RIGIDEZ DA LIGAÇÃO ENTRE PERFIS HORIZONTAIS E VERTICAIS	89
5.2.2. INFLUÊNCIA DO VIDRO NAS JANELAS	91
5.3. APOIO AO PRÉ-DIMENSIONAMENTO.....	92
 6. CONCLUSÕES	 95
6.1. CONCLUSÕES GERAIS.....	95
6.2. DIFICULDADES SENTIDAS	96
6.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	96
 BIBLIOGRAFIA	 97

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2:

Fig. 2.1 - Classificação de janelas segundo a norma EN 12519 [2]	7
Fig. 2.2 - Janelas fixas [2]	8
Fig. 2.3 – a) Janela de bater de abertura para o interior com eixo vertical à esquerda [1]; b) Janela de batente de abertura para o interior com eixo à direita [2]	8
Fig. 2.4 – a) Janela de batente de abertura para o exterior com eixo à esquerda [1]; b) Janela de batente de abertura para o exterior com eixo à direita [2]	9
Fig. 2.5 – a) Janela pivotante de eixo vertical centrado à esquerda; b) Janela pivotante de eixo centrado à direita [2].....	9
Fig. 2.6 – a) Janela pivotante de eixo vertical descentrado à esquerda; b) Janela pivotante de eixo vertical descentrado à direita [2]	10
Fig. 2.7 – a) Janela pivotante de eixo horizontal centrado; b) Janela pivotante de eixo horizontal descentrado [2].....	10
Fig. 2.8 - Janela de guilhotina de duas folhas móveis [2]	11
Fig. 2.9 – a) Janela de guilhotina com folha inferior móvel; b) Janela de guilhotina com folha superior móvel [2]	11
Fig. 2.10 – a) Janela de correr com uma folha de correr à esquerda; b) Janela de correr com folha móvel de correr à direita [2].....	12
Fig. 2.11 - Janela de correr com duas folhas móveis em que a folha esquerda corre à frente da direita; b) Janela de correr com duas folhas móveis em que a folha da direita corre à frente da esquerda [2]	12
Fig. 2.12 – a) Janela Oscilo-paralela de abertura para a direita; b) Janela oscilo-paralela de abertura para a esquerda [2]	13
Fig. 2.13 – a) Janela elevadora de correr de abertura para a direita; b) Janela elevadora de correr com abertura para a esquerda [2]	13
Fig. 2.14 - Janelas deslizantes de abrir para o exterior de abertura à esquerda; b) Janelas deslizantes de abrir para o exterior de abertura à direita [2].....	14
Fig. 2.15 – Janela à italiana [2]	14
Fig. 2.16 – a) Janela oscilo-batente de abertura para a esquerda; b) Janela oscilo-batente de abertura para a direita [2].....	15
Fig. 2.17 – Janela basculante [2]	15
Fig. 2.18 - Janela projectante [2].....	16
Fig. 2.19 - Janela pivotante múltipla, de abertura em torno de eixo vertical; b) Janela pivotante múltipla, de abertura em torno de eixo horizontal [2]	16
Fig. 2.20 - Janela acordeão [2].....	17
Fig. 2.21 - Espectro da radiação solar segundo EN 410 [10]	23

Fig. 2.22 – Fluxo incidente, transmitido e reenviado [10]	24
Fig. 2.23 - Constituintes do vidro blindado [47]	31

CAPÍTULO 3:

Fig. 3.1 – Evolução temporal da pressão e caudal ao longo do tempo num ensaio de permeabilidade ao ar [73].....	38
Fig. 3.2 – Exemplo de gráfico que permite situar o comportamento da amostra de ensaio em relação às diferentes classes [73]	40
Fig. 3.3 - Evolução temporal da pressão e do caudal de água num ensaio de estanquidade à água [73]	41
Fig. 3.4 - Esquema de montagem dos transdutores de deslocamentos [73]	42
Fig. 3.5 - Exemplo de um gráfico de um ensaio de deflexão frontal em função da carga de ensaio e do tempo [73]	43
Fig. 3.6 - Exemplo de registo de carga de ensaio em depressão/pressão em função do tempo num ensaio de segurança [73]	44

CAPÍTULO 4:

Fig. 4.1 – Avaliação da rugosidade do terreno [13]	50
Fig. 4.2 - Coeficiente de exposição para terrenos com $co(z)$ e $KI=1,0$ [13]	51
Fig. 4.3 – Formas gerais das construções abrangidas pelo método de cálculo [13]	52
Fig. 4.4 – Coeficiente estrutural, $c_s c_d$, para edifícios de estrutura de aço com vários pisos, de planta regular, e com paredes exteriores verticais, com uma distribuição regular de rigidez e de massa [13]	53
Fig. 4.5 - Coeficiente de pressão interior para edifícios sem fachada dominante [13]	55
Fig. 4.6 - Alturas de referência para a pressão exterior em edifícios regulares planos [13]	56
Fig. 4.7 – Pressão exercida em superfícies [13]	57
Fig. 4.8 - Tipos de caixilharias sujeitos a análise	59
Fig. 4.9 – Exemplo de distribuição de esforços segundo áreas de influência trapezoidais e triangulares, em função da dimensão do vão	71
Fig. 4.10 - Esquema da janela de bater de duas folhas móveis	72
Fig. 4.11 - Deformada para pressões positivas com o modelo 1	72
Fig. 4.12 - Deformada para pressões positivas com o modelo 2	73
Fig. 4.13 - Deformada para pressões negativas com o modelo 1	73
Fig. 4.14 - Deformada obtida para modelo 2 com pressões negativas	74
Fig. 4.15 - Esquema da janela oscilo-batente de duas folhas	74
Fig. 4.16 - Deformada para pressões positivas com o modelo 1	75

Fig. 4.17 - Deformada para o modelo 2 com pressões positivas.....	75
Fig. 4.18 - Deformada para pressões negativas com o modelo 1	76
Fig. 4.19 - Deformada obtida para modelo 2 com pressões negativas	76
Fig. 4.20 - Vista interior da janela oscilo-paralela	76
Fig. 4.21 – Deformada para pressões positivas com o modelo 1	77
Fig. 4.22 - Deformada para o modelo 2 com pressões positivas.....	77
Fig. 4.23 - Deformada para pressões negativas com o modelo 1	78
Fig. 4.24 - Deformada obtida para modelo 2 com pressões negativas	78
Fig. 4.25 - Janela oscilo-paralela de duas folhas móveis	79
Fig. 4.26 - Deformada do modelo 1 para pressões positivas	79
Fig. 4.27 - Deformada para o modelo 2 com pressões positivas.....	80
Fig. 4.28 - Deformada para pressões negativas com o modelo 1	80
Fig. 4.29 - Deformada obtida para modelo 2 com pressões negativas	80
Fig. 4.30 – a) Área de influência considerada para dimensionamento dos perfis centrais; b) Esquema de carga dos perfis.....	81
Fig. 4.31 – Tipos de janelas em função da disposição dos perfis centrais.....	81

CAPÍTULO 5:

Fig. 5.1 – Comparação entre a deformada dos ensaios e as deformadas obtidas nos dois tipos de modelo, para cada tipo de janela e em função do tipo de pressão	86
Fig. 5.2 – Comparação entre os coeficientes parciais de rigidez para os vários modelos	88
Fig. 5.3 – Comparação entre as deformadas do modelo com vidro e do modelo com cladings	89
Fig. 5.4 – Distribuição de cargas com base em áreas de influência definidas a partir da teoria de vigas [74].....	91
Fig. 5.5 – Inércia dos perfis em função da relação entre a largura e a altura, b/h , para as diferentes classes de pressão, para uma janela com 2 m de altura.....	92

ÍNDICE DE QUADROS

CAPÍTULO 2:

Quadro 2.1 – Principais vantagens e desvantagens para os diversos materiais constituintes de caixilharias.....	19
Quadro 2.2 - Coeficientes de dilatação linear para diversos materiais em relação ao vidro [10]	25
Quadro 2.3 - Definição das classes de Fumos [6]	27
Quadro 2.4 - Definição de classes de Gotas ou Partículas Inflamadas [6]	28
Quadro 2.5 - Euroclasses de reacção ao fogo com métodos de ensaio, critérios de classificação e classificação complementar [34]	28
Quadro 2.6 - Vapor de água libertado por dia nas principais actividades humanas [67]	35
Quadro 2.7 - Principais exigências e normas de ensaio e classificação associadas	36

CAPÍTULO 3:

Quadro 3.1 - Permeabilidade ao ar de referência a 100 Pa e pressões de ensaio relacionadas com a superfície total para as classes de 1 a 4 [57]	39
Quadro 3.2 - Permeabilidade ao ar de referência a 100 Pa e pressões máximas de ensaio, relacionadas com o comprimento das juntas de fecho, para as classes de 1 a 4 [57].....	39
Quadro 3.3 - Classificação de caixilharias à estanquidade à água de acordo com a norma EN 12208 [61].....	41
Quadro 3.4 - Classificação em relação à acção do vento [15]	44
Quadro 3.5 - Classificação em relação à flecha relativa frontal [15].....	45
Quadro 3.6 - Classificação da resistência à acção do vento [15]	45

CAPÍTULO 4:

Quadro 4.1 – Categorias do terreno e respectivos parâmetros [13].....	49
Quadro 4.2 - Coeficientes de pressão exterior mais desfavoráveis	53
Quadro 4.3 - Coeficiente de pressões interiores para edifícios com fachada dominante	54
Quadro 4.4 - Análise qualitativa do desempenho das caixilharias, na perspectiva das propriedades mais simples.....	59
Quadro 4.5 – Casos mais desfavoráveis encontrados na classificação do quadro 4.4	69
Quadro 4.6 - Propriedades mecânicas do vidro [10] e do alumínio [76, 77].....	70
Quadro 4.7 – Expressões para o cálculo das deformadas máximas em função do tipo de vidro das caixilharias.....	82
Quadro 4.8 - Deformação relativa e absoluta máximas admissíveis em função do tipo de envidraçado [33].....	82

CAPÍTULO 5:

Quadro 5.1 – Resumo dos principais resultados dos modelos considerados para cada janela.....	85
Quadro 5.2 – Coeficientes parciais de rigidez iniciais para os vários tipos de janela ensaiados	87
Quadro 5.3 – Coeficientes parciais de rigidez finais para os vários tipos de janelas ensaiados	88
Quadro 5.4 – Comparação entre as deformadas obtidas com o vidro e com distribuição trapezoidal e triangular de cargas	89

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Desde os primórdios da civilização que as caixilharias têm acompanhado a evolução da arquitectura associada à necessidade de abrigo e protecção.

A materialização das caixilharias como as vemos hoje, constituídas por vidro e um elemento que as fixe ao vão, remonta à civilização romana com a tentativa de fazer entrar a luz, criação divina, nas igrejas e catedrais. No entanto, a criação de aberturas nos vãos de maneira a ventilar e iluminar espaços interiores, remonta ao berço da civilização, onde a cultura egípcia introduzia a noção de vão. Nessa altura, estes elementos estavam associados a pequenas aberturas, pois a construção era feita com elementos de grande dimensão e peso. A civilização grega e romana veio inovar os métodos de construção, permitindo criar aberturas de maior dimensão, normalmente associadas à grandiosidade e luxo dos seus edifícios. A época medieval ficou marcada pelas conquistas territoriais e as edificações tinham um carácter protector e de limite territorial com os grandes castelos e muralhas, resultando numa redução das aberturas nas fachadas, com a finalidade de não deixar entrar invasores. A partir dessa altura, assistiu-se a uma verdadeira evolução das caixilharias e a entrada no século XX, com a introdução do ferro através da revolução industrial, veio catapultar a inovação deste componente na construção. Surgiram entretanto os primeiros arranha-céus e as janelas assumiram um papel importante na envolvente dos edifícios.

A evolução dos materiais trouxe variedade de soluções e de propriedades a estes elementos, sendo hoje possível revestir um edifício totalmente com vidro, assumindo assim, um papel estrutural de grande importância. O alumínio é um material muito utilizado actualmente na indústria das caixilharias. Este começou por ser utilizado em componentes para as caixilharias de aço e, depressa, se deu conta que este material poderia contribuir muito mais na óptica das caixilharias. O seu crescimento foi rápido e hoje em dia é um dos materiais mais utilizados neste tipo de componente.

O crescimento dos edifícios em altura veio trazer novos desafios à aplicação e especificação das caixilharias. O conhecimento da distribuição do vento nos edifícios permitiu obter soluções mais rigorosas do ponto de vista do dimensionamento. No entanto, este processo está longe de estar optimizado e carece de intervenções que permitam um conhecimento mais profundo do comportamento estrutural destes elementos e da interacção entre os diversos componentes.

1.2. OBJECTIVOS DO TRABALHO

O grande objectivo a que este trabalho se propõe é a análise e simulação numérica de ensaios efectuados no Laboratório de Sistemas e Componentes (LSC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), de maneira a tentar encontrar uma relação entre os modelos e a realidade no âmbito da especificação estrutural de caixilharias, que permita um dimensionamento mais preciso e rigoroso.

No entanto, associaram-se outros objectivos que permitem enquadrar e perceber a temática das caixilharias no âmbito do estudo realizado.

Numa primeira fase, o objectivo é perceber a importância que as caixilharias têm no mundo actual da construção, conhecer os principais tipos, materiais e acessórios utilizados e a sua articulação. Pretende-se ainda perceber as principais exigências e desafios a que as caixilharias têm que dar resposta, de maneira a garantir a habitabilidade de um espaço, fazendo o paralelismo com a normalização existente.

Pretende-se também perceber a metodologia de ensaio e classificação das principais exigências relativamente a este componente.

O processo de dimensionamento é um tema directamente ligado com o âmbito deste trabalho. Com base neste aspecto, analisa-se o processo actual de dimensionamento de caixilharias, nomeadamente a questão da acção do vento, tipificação estrutural de caixilharias e quantificação das propriedades geométricas dos elementos estruturais destas.

O principal objectivo passa por estudar a metodologia e os principais problemas associados a modelos em *software*, que permitam simular estruturalmente as caixilharias, através da comparação dos resultados obtidos em laboratório com os obtidos com base nos modelos.

Finalmente, e com a intenção de propor soluções para um dimensionamento mais expedito de caixilharias, são elaborados modelos que entram com a relação entre as dimensões do vão e pressões aplicadas, facilitando a escolha das propriedades geométricas dos perfis.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho divide-se em 5 capítulos principais, onde se irá estudar a temática das caixilharias na perspectiva do dimensionamento estrutural.

O capítulo 2 - *Importância das Caixilharias* - faz uma descrição dos tipos de caixilharias existentes, em relação ao tipo de abertura, estudando-as relativamente à forma como se processa o seu funcionamento na perspectiva estrutural. Ainda dentro do mesmo capítulo são abordados os diferentes materiais que compõem as caixilharias, em particular o vidro, por ser um material que ocupa grande parte da área ocupada pela janela. Os acessórios constituintes também são referidos, uma vez que têm influência no comportamento estrutural das caixilharias. Por último, é feita uma caracterização das janelas relativamente às principais exigências e são referidas as normas aplicáveis.

O capítulo 3 faz uma caracterização dos resultados e processos de ensaio realizados no Laboratório de Sistemas e Componentes (LSC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), acerca das três características principais no que toca a: caixilharias, permeabilidade ao ar, estanquidade à água e resistência ao vento.

O capítulo 4 é o que descreve o processo de dimensionamento de caixilharias. A primeira parte daquele diz respeito à quantificação da acção do vento em edifícios, para paredes de fachada,

coberturas inclinadas e planas. O segundo tema abordado é a tipificação estrutural das caixilharias, onde é apresentada uma classificação de alguns tipos de caixilharias em função do tipo de pressão aplicada e com base nas características mais importantes associadas a janelas. Ainda no mesmo capítulo são caracterizados o estado limite último e de resistência no que toca a caixilharias. Por fim, foi feita uma modelação em software que visa simular o comportamento estrutural das caixilharias ensaiadas no laboratório.

Em 5 são analisados os dados provenientes da modelação efectuada no capítulo anterior e é estudada a influência da rigidez das ligações entre perfis e a influência do vidro no modelo. Finalmente são apresentados elementos de ajuda ao pré-dimensionamento.

No último capítulo, 6, são retiradas as conclusões genéricas mais importantes do trabalho efectuado, registam-se as principais dificuldades e sugerem-se medidas a tomar no futuro.

2

IMPORTÂNCIA DAS CAIXILHARIAS

2.1. SOLUÇÕES CORRENTES DE CAIXILHARIAS [2]

A importância das zonas envidraçadas nos edifícios tem crescido significativamente nos últimos anos por diversas razões associadas, fundamentalmente, à imagem e ao maior recurso a zonas envidraçadas na construção de edifícios. Por isso os requisitos a que este componente tem que dar resposta têm vindo também a crescer e a adquirir uma importância cada vez maior, em estreita relação com qualidade dos espaços interiores.

Ao longo do tempo a utilização de caixilharias tem crescido e actualmente existem até edifícios maioritariamente constituídos por fachadas de vidro, atribuindo transparência, simplicidade e harmonia com o exterior ao edifício.

A evolução da arquitectura tem proporcionado a criação de novas formas e novas maneiras de interacção entre componentes no mundo da construção e as caixilharias têm acompanhado este desenvolvimento, respondendo às mais diversas exigências dos utilizadores. Prova disso é a quantidade de soluções actuais, que permitem várias maneiras diferentes de fazer o contacto com o mundo exterior e de se conjugar entre si.

No entanto essa evolução não se materializa apenas em questões estruturais e no seu funcionamento. Actualmente há muitos materiais que podem ser aplicados às caixilharias, atribuindo-lhe propriedades distintas e adequadas a determinados ambientes.

A utilização de um determinado tipo de janela implica que se tenha um conhecimento aprofundado das suas características e influências que esta tem na vida quotidiana do utilizador, não só pelo facto de interagir com este, mas também devido à sua importância como elemento definidor da envolvente.

De uma maneira geral pode-se dizer que as caixilharias vieram revolucionar a relação entre os edifícios e o mundo exterior, actuando como uma tela que retrata essa realidade filtrada pelo homem.

A norma EN 12519 [2] faz uma caracterização dos diferentes tipos de caixilharias relativamente ao processo de funcionamento e apresenta os devidos esquemas de funcionamento. Na caracterização de cada tipo de janelas, as imagens colocadas à esquerda correspondem à vista interior da janela e as da direita à vista exterior.

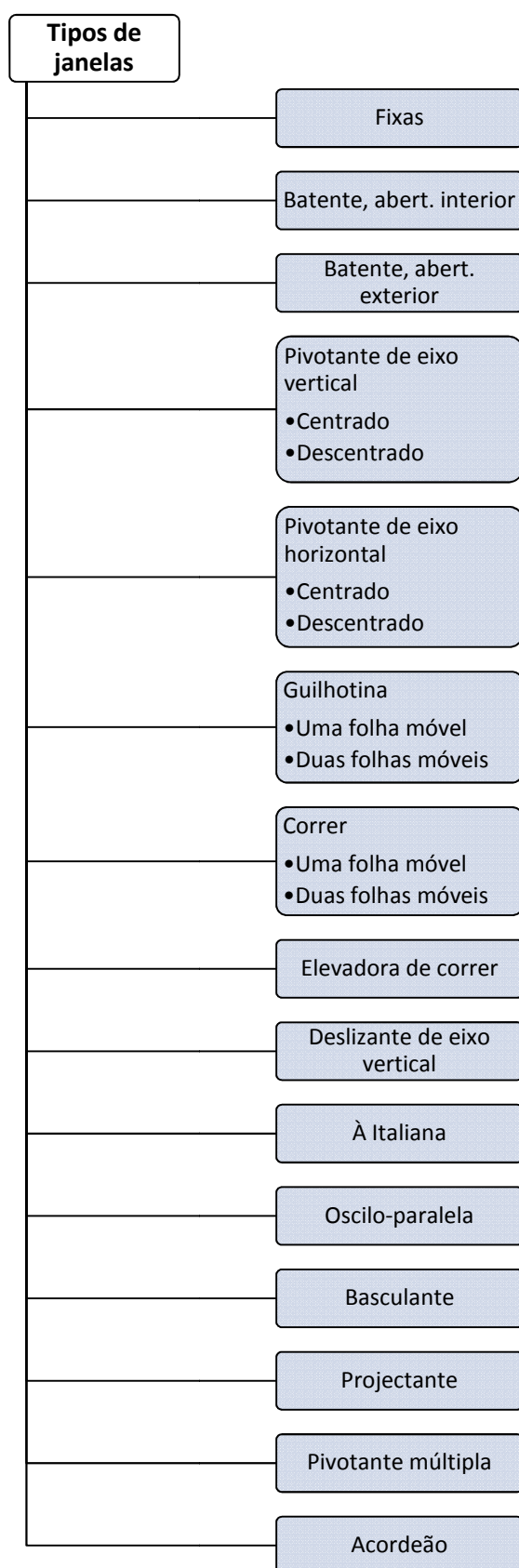


Fig. 2.1 - Classificação de janelas segundo a norma EN 12519 [2]

2.1.1. JANELA FIXA [3]

As janelas fixas são constituídas por um aro fixo a toda a volta que faz a ligação entre o vidro e o vão e não possui acessórios nem permite o contacto entre o exterior e o interior. A fixação do aro fixo ao vão é feito através de parafusos espalhados pelo perímetro da janela. Este tipo de janela é muito utilizado nas montras de superfícies comerciais e edifícios de escritórios, vulgarmente conhecido por fachada envidraçada, e não permite ventilação. A limpeza da face exterior é impossível a partir do interior e não permite libertar o vão. Adequada para iluminação.

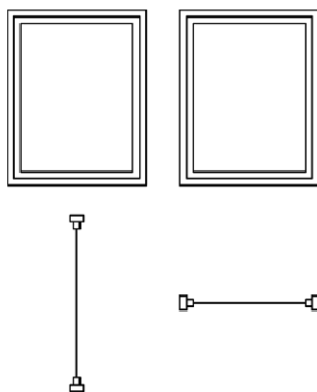


Fig. 2.2 - Janelas fixas [2]

2.1.2. JANELA DE BATENTE, COM ABERTURA PARA O INTERIOR [3]

As janelas de batente com abertura para o interior são muito utilizadas no mundo da construção. Este tipo de janela permite rotações em torno de um eixo vertical situado num dos lados do aro fixo, materializado por meio de dobradiças que unem a parte fixa à móvel. O elemento de fecho desta janela é geralmente colocado no extremo oposto ao das dobradiças e faz a ligação entre o caixilho móvel e o fixo. Este tipo de janelas pode ser composto por duas folhas móveis, unidas nos perfis centrais por pontos de fecho. Possibilita a abertura total do vão, facilitando assim operações de limpeza. No entanto essa abertura não permite controlar a ventilação.

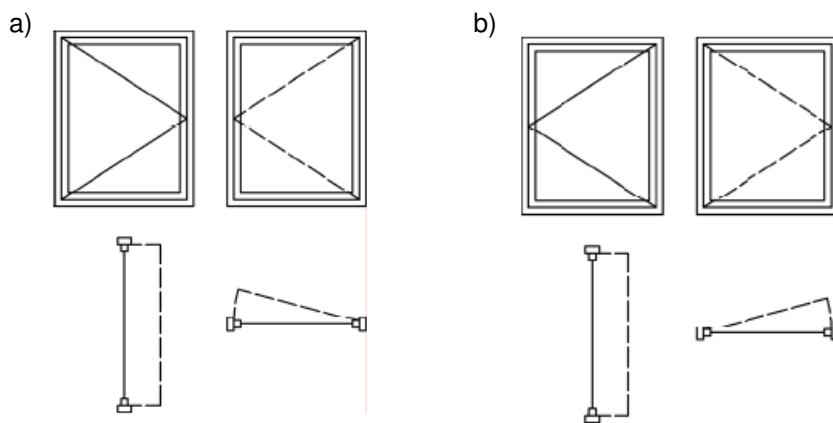


Fig. 2.3 – a) Janela de bater de abertura para o interior com eixo vertical à esquerda [1]; b) Janela de batente de abertura para o interior com eixo à direita [2]

2.1.3. JANELA DE BATENTE COM ABERTURA PARA O EXTERIOR

As janelas de batente com abertura para o exterior usufruem da mesma caracterização feita para o tipo de janelas anterior, diferindo apenas no tipo de abertura.

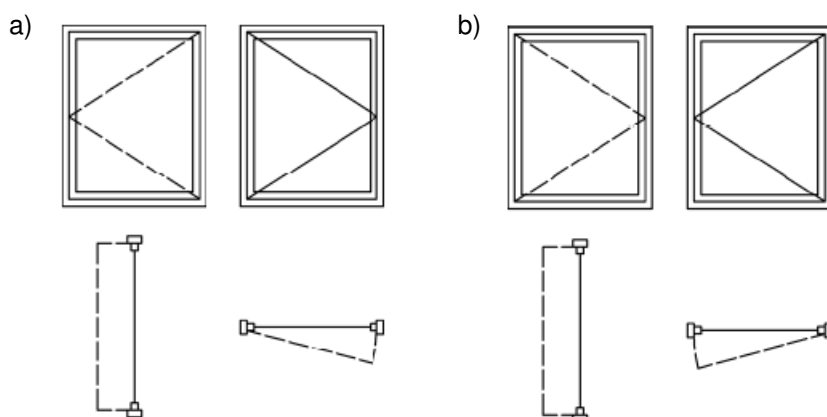


Fig. 2.4 – a) Janela de batente de abertura para o exterior com eixo à esquerda [1]; b) Janela de batente de abertura para o exterior com eixo à direita [2]

2.1.4. JANELA PIVOTANTE DE EIXO VERTICAL

Este tipo de janelas caracteriza-se por abrir em torno de um eixo vertical. Ao abrir, parte da janela move-se para o interior enquanto a outra parte se move para o exterior. Pode rodar num sentido de rotação ou nos dois e pode ser regulada, permitindo regular a ventilação de espaços interiores e facilitar operações de manutenção e limpeza. O facto de haver uma parte que se projecta para o exterior faz com que se torne inviável a colocação de grades e persianas exteriores.

As janelas pivotantes de eixo vertical dividem-se em duas configurações, dependentes da localização do eixo de abertura. Assim, podemos ter janelas pivotantes de eixo vertical centrado ou descentrado.

Por sua vez, as janelas pivotantes de eixo vertical centrado subdividem-se em dois novos tipos dependendo do sentido de rotação do eixo.

No primeiro tipo, a metade do lado esquerdo move-se para o interior e a do lado direito para o exterior. No segundo tipo verifica-se o inverso.

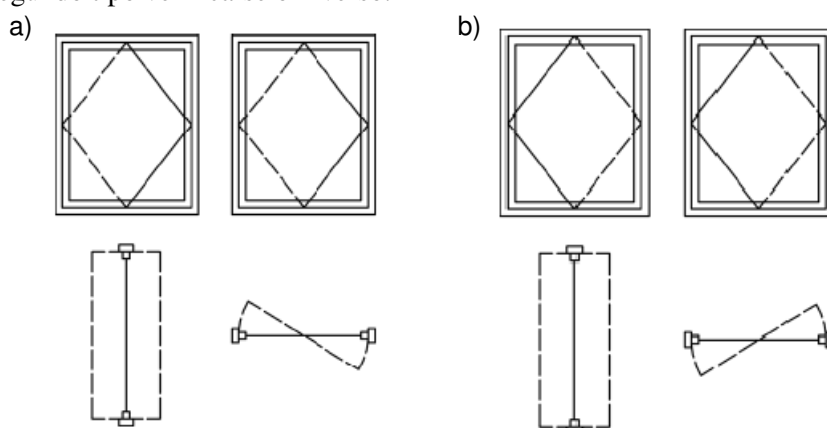


Fig. 2.5 – a) Janela pivotante de eixo vertical centrado à esquerda; b) Janela pivotante de eixo centrado à direita [2]

As janelas pivotantes de eixo vertical descentrado também se dividem em função do sentido de rotação do eixo vertical, tal como no caso anterior.

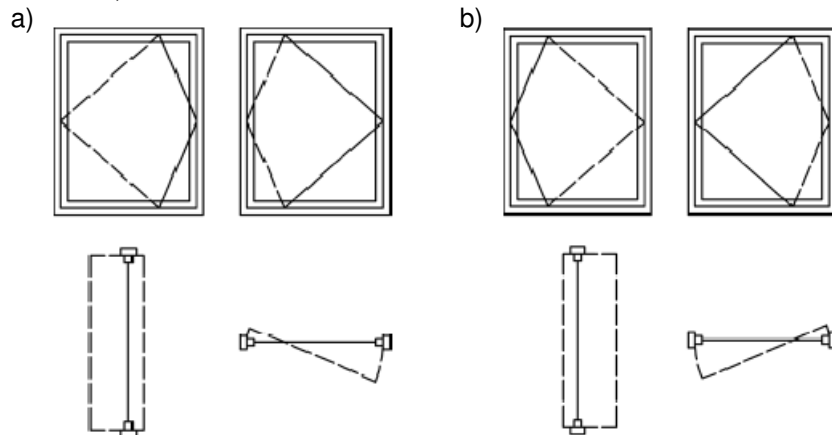


Fig. 2.6 – a) Janela pivotante de eixo vertical descentrado à esquerda; b) Janela pivotante de eixo vertical descentrado à direita [2]

2.1.5. JANELA PIVOTANTE DE EIXO HORIZONTAL

As janelas pivotantes de eixo horizontal funcionam da mesma maneira que as janelas pivotantes de eixo vertical, mudando apenas a direcção do eixo. Estas também podem ter o eixo centrado ou descentrado.

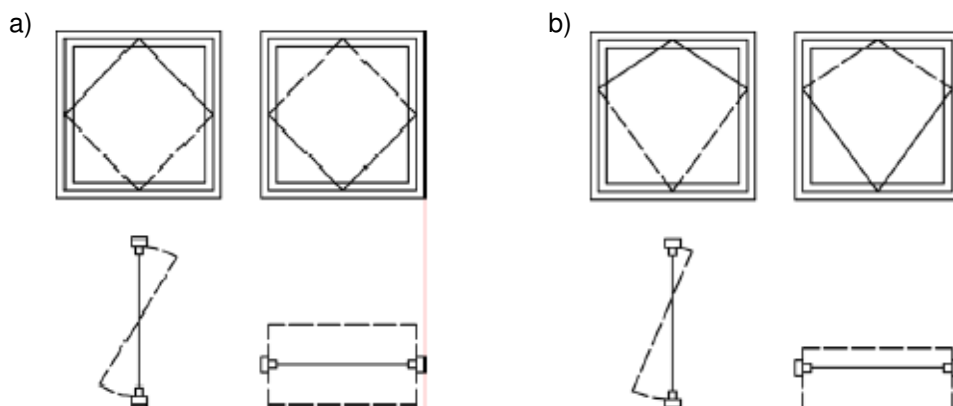


Fig. 2.7 – a) Janela pivotante de eixo horizontal centrado; b) Janela pivotante de eixo horizontal descentrado [2]

2.1.6. JANELA DE GUILHOTINA [3, 4]

As janelas de guilhotina funcionam de acordo com movimentos de translação verticais das folhas móveis, deslizando sobre calhas verticais nas laterais do vão. A janela de guilhotina comum abre-se manualmente recorrendo à força humana e fixa-se no vão com dois apoios laterais semelhantes a borboletas. No entanto, quando se tem janelas com o mesmo tipo de funcionamento mas com dimensões superiores que não tornem viável recorrer à força humana para as abrir, estas são dotadas de sistemas de contrapeso. O sistema de contrapeso fica escondido lateralmente e consiste em dois pesos que somados têm peso igual à janela. Este sistema permite graduar a abertura em qualquer posição. As principais vantagens deste tipo de janelas são a regulação do caudal de ventilação, economia de espaço no processo de abertura e a possibilidade de colocação de elementos exteriores

como grades e persianas. No entanto, só permite libertar metade da área do vão e se estiver associada a sistemas de elevação das folhas, pode ter manutenção frequente.

A divisão é feita tendo em conta o número de folhas: janelas de guilhotina com duas folhas móveis e janelas de guilhotina com apenas uma folha móvel.

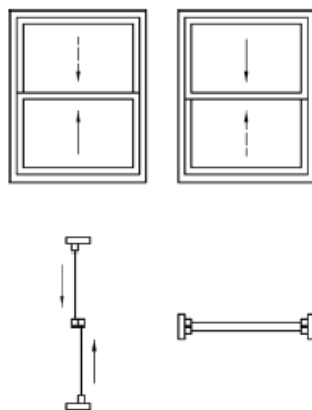


Fig. 2.8 - Janela de guilhotina de duas folhas móveis [2]

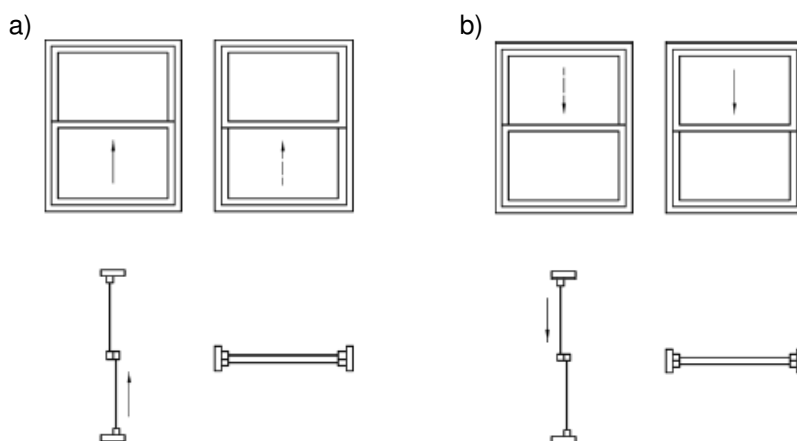


Fig. 2.9 – a) Janela de guilhotina com folha inferior móvel; b) Janela de guilhotina com folha superior móvel [2]

2.1.7. JANELA DE CORRER [3]

As janelas de correr têm um funcionamento muito parecido com as anteriores. As folhas móveis desta janela movimentam-se sobre roldanas, na direcção horizontal, que rolam em cima de carris inseridos nos aros fixos nas janelas, segundo planos paralelos. Caso seja necessário aproveitar o vão da janela, este tipo de janelas pode ser embutido nas paredes. Não existem muitos acessórios estruturais para este tipo de janela uma vez que apenas são necessários para garantir a fixação das folhas móveis ao aro fixo, sistema de fecho. No entanto, é uma janela que possui muitos problemas a nível de estanquidade à água e permeabilidade ao ar e que, por isso, necessita de componentes que diminuam esses efeitos. As janelas de correr apenas conseguem libertar uma percentagem do vão, dependendo do número de folhas e de carris, mas não se prolongam para além do plano de acção, permitindo a implantação de grades e persianas do lado exterior. A sua utilização requer esforços de pequena dimensão, mesmo para janelas de grande vão.

Podemos ter janelas de correr com uma folha móvel e com duas folhas móveis.

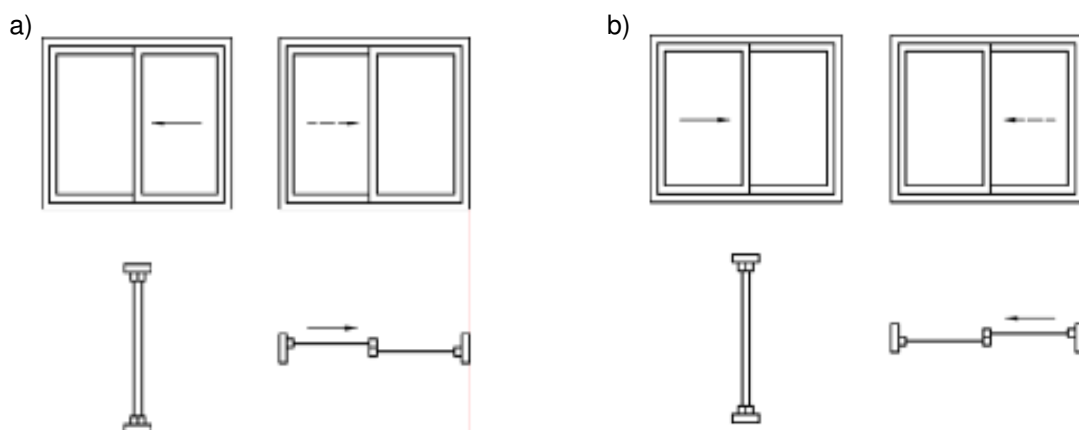


Fig. 2.10 – a) Janela de correr com uma folha de correr à esquerda; b) Janela de correr com folha móvel de correr à direita [2]

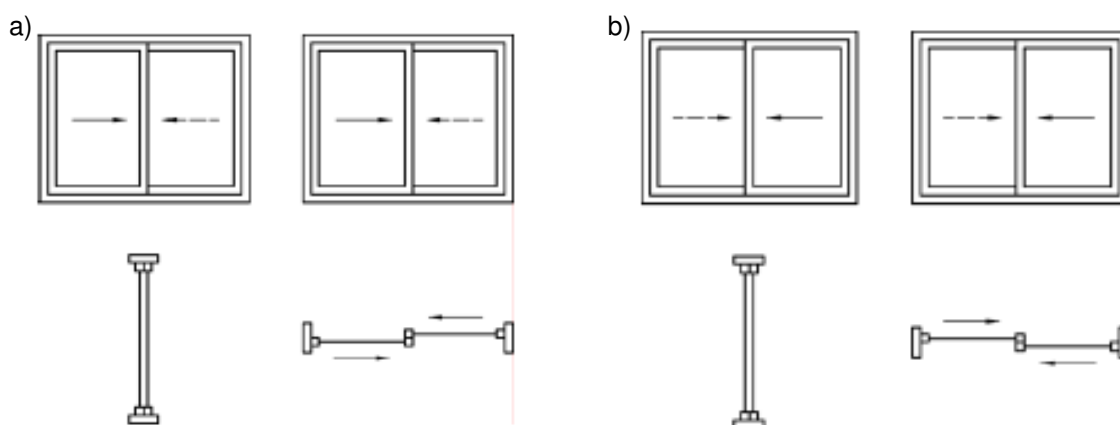


Fig. 2.11 - Janela de correr com duas folhas móveis em que a folha esquerda corre à frente da direita; b) Janela de correr com duas folhas móveis em que a folha da direita corre à frente da esquerda [2]

2.1.8. JANELA OSCILO-PARALELA [3]

As janelas oscilo-paralelas possibilitam duas formas de abrir, abertura como se fosse uma janela de correr ou como uma janela basculante. Nesta janela os acessórios existentes permitem a fixação da folha móvel ao caixilho fixo através de pontos de fecho. A abertura de correr possibilita a ventilação sem ocupar espaço interior, uma vez que a janela movimenta-se no mesmo plano em que estava. Quando não é necessário uma abertura completa da janela, ao ficar do tipo basculante permite a ventilação interior sem ocupar muito espaço e em dias de pouca chuva. Permite a colocação de grades e persianas e a libertação no máximo de 50% do vão, dependendo do número de carris e do número de folhas. Pode eventualmente dificultar a limpeza do lado exterior e ter um preço elevado devido aos sistemas que permitem passar de janela de correr para basculante.

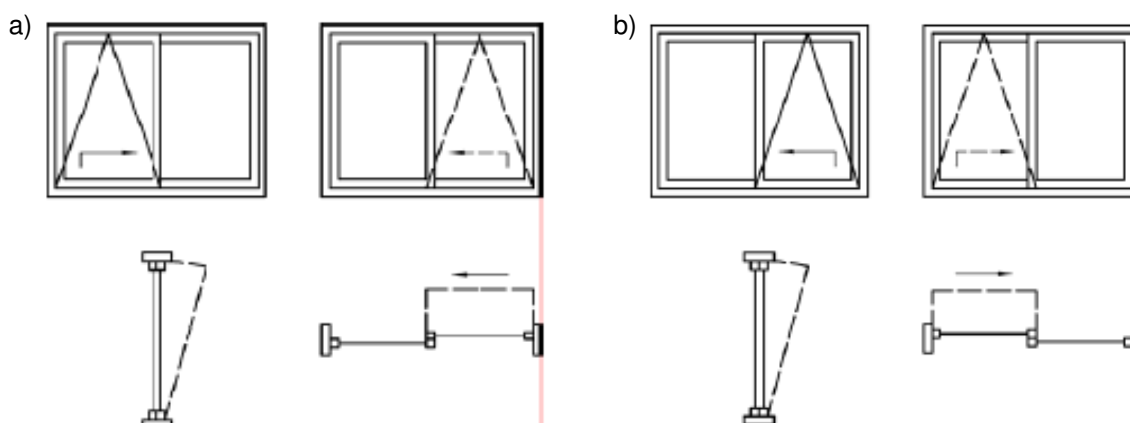


Fig. 2.12 – a) Janela Oscilo-paralela de abertura para a direita; b) Janela oscilo-paralela de abertura para a esquerda [2]

2.1.9. JANELA ELEVADORA DE CORRER

Este tipo de janela pode ser caracterizado como uma variante da janela de correr. Apesar de ter as mesmas propriedades desse tipo de janela, possui uma propriedade particular. Ao rodar uma alavanca, um sistema de roldanas desce, ficando em contacto com o carril onde vai rolar, e eleva a janela para ela se poder movimentar. Ao desactivar o sistema que a faz rolar a janela assenta no aro fixo, impossibilitando o seu movimento. Este tipo de janela está associado a vãos de grandes dimensões e, consequentemente, a janelas de elevado peso. Apresenta uma libertação parcial do vão dependendo do número de folhas e do número de carris onde podem correr e podem ter um preço mais elevado devido ao sistema complexo que permite elevar a janela para a movimentar.

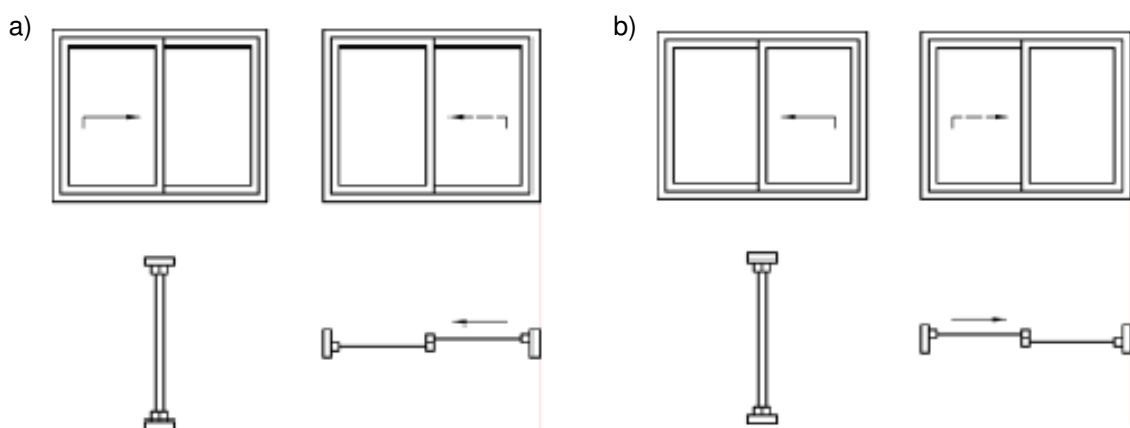


Fig. 2.13 – a) Janela elevadora de correr de abertura para a direita; b) Janela elevadora de correr com abertura para a esquerda [2]

2.1.10. JANELA DE EIXO VERTICAL DESLIZANTE, COM ABERTURA PARA O EXTERIOR

Este tipo de janela assemelha-se a uma janela de bater embora tenha a particularidade de quando se processa a abertura o eixo de rotação sofre um movimento de translação horizontal. Este tipo de abertura confere uma trajectória oval à janela. Devido ao facto de se projectar para o exterior, não permite a colocação de grades e persianas. Possibilitam uma boa ventilação e uma grande abertura do vão.

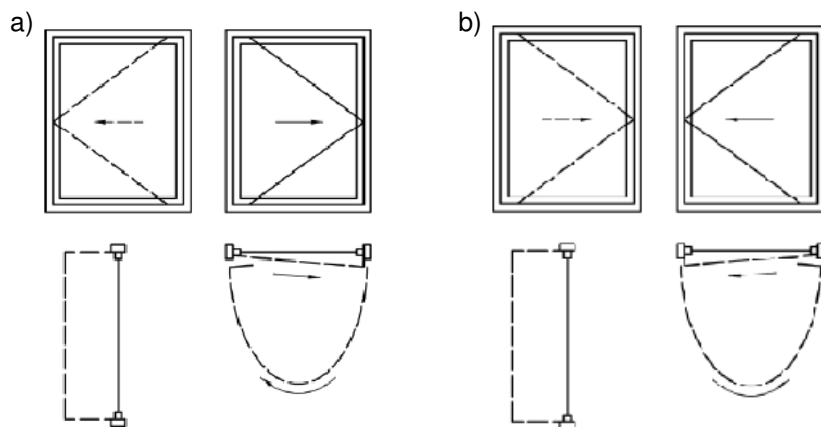


Fig. 2.14 - Janelas deslizantes de abrir para o exterior de abertura à esquerda; b) Janelas deslizantes de abrir para o exterior de abertura à direita [2]

2.1.11. JANELA À ITALIANA

Tal como a janela anterior, este tipo de janela possui a característica de o eixo em torno do qual se dá a rotação da folha, sofrer uma translação vertical. A forma de abertura assemelha-se a uma janela projectante e pode permitir uma abertura até 90 °. Além disto este tipo de janela facilita a ventilação visto que cria uma zona aberta acima do eixo, facilitando as trocas de ar no interior.

A grande desvantagem deste tipo de janelas é o facto de não permitir a colocação de grades de protecção e persianas.

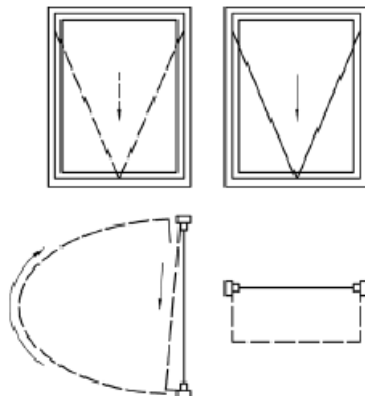


Fig. 2.15 – Janela à italiana [2]

2.1.12. JANELA OSCILO-BATENTE

As janelas oscilo-batentes têm a particularidade de poderem abrir de duas maneiras diferentes, actuando como janela de abrir ou basculante. A nível de acessórios são constituídas por dobradiças que permitem a abertura da folha e por um sistema que permite que a janela tombe. É uma janela que permite diferentes caudais de ventilação e até que esta se verifique em dias de pouca chuva. Como abrem para o interior permite a colocação exterior de grades e persianas.

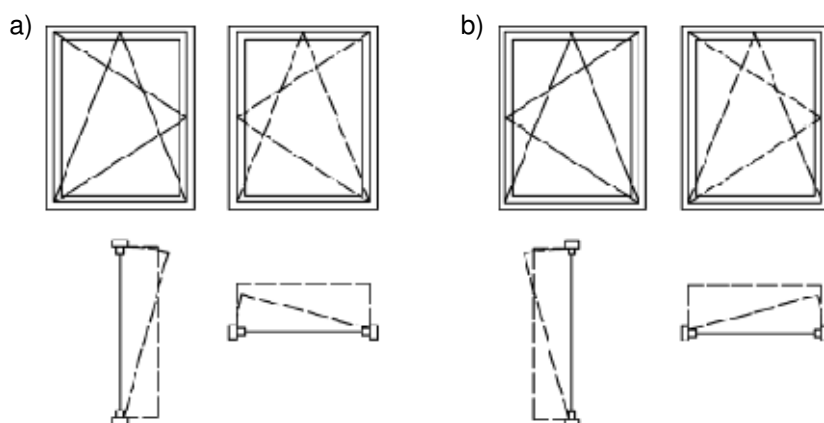


Fig. 2.16 – a) Janela oscilo-batente de abertura para a esquerda; b) Janela oscilo-batente de abertura para a direita [2]

2.1.13. JANELA BASCULANTE

As janelas basculantes são janelas de abertura para o interior, rodando em torno de um eixo horizontal situado no limite inferior da janela. São constituídas por um sistema tipo dobradiça que serve de eixo de rotação e por peças metálicas que limitam a abertura da janela até um certo grau. Tem como vantagem o facto de proporcionar boa ventilação, mesmo com chuva. No entanto existe uma grande dificuldade de limpeza pela parte exterior, não permite a libertação completa do vão e o sistema que permite a sua abertura é caro.

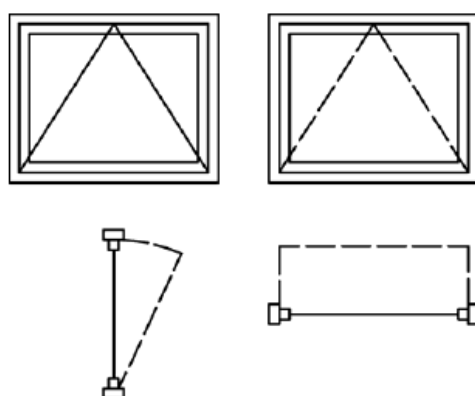


Fig. 2.17 – Janela basculante [2]

2.1.14. JANELA PROJECTANTE

A janela projectante funciona da mesma maneira que a anterior, diferindo apenas na localização do eixo de rotação, agora no limite superior da janela. Este tipo de janela abre para o exterior dificultando a colocação de grades e persianas exteriores e não abre completamente, dificultando assim a limpeza exterior. Permite boa ventilação, mesmo com tempo de chuva.

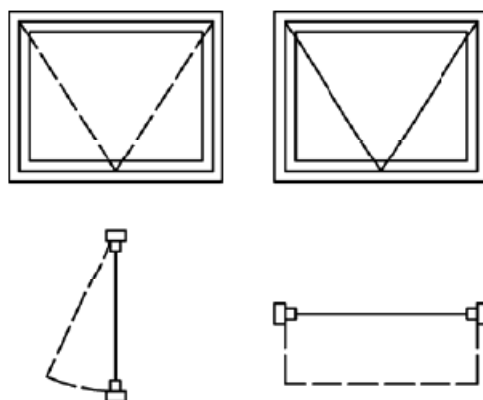


Fig. 2.18 - Janela projectante [2]

2.1.15. JANELA PIVOTANTE MÚLTIPLA

Este tipo de janelas é constituído por várias folhas pivotantes dispostas paralelamente. A sua abertura permite uma boa regulação do caudal de ventilação e facilidade de limpeza. Quando se encontram abertas ocupam espaço no interior e exterior do compartimento, podendo assim comprometer a colocação de grades e persianas.

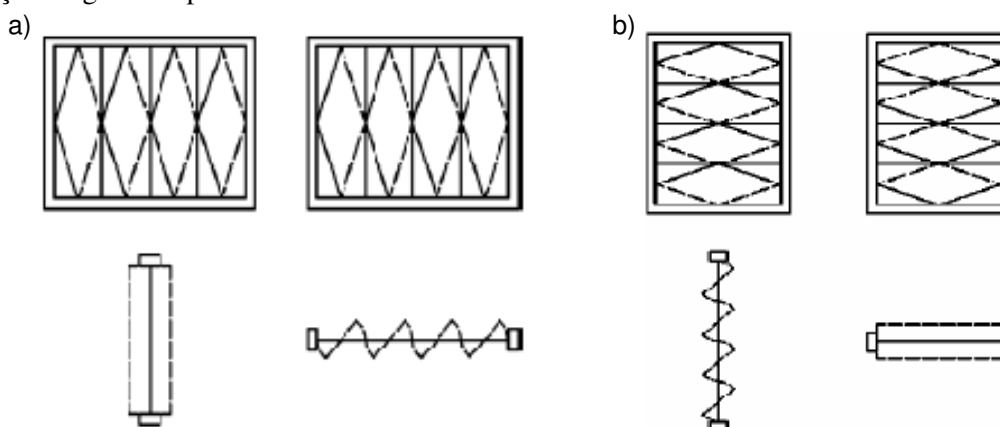


Fig. 2.19 - Janela pivotante múltipla, de abertura em torno de eixo vertical; b) Janela pivotante múltipla, de abertura em torno de eixo horizontal [2]

2.1.16. JANELA ACORDEÃO

O princípio de funcionamento deste tipo de janelas assemelha-se, tal como o nome indica, a um acordeão. Estas deslizam ao longo de duas calhas, na face inferior e superior da janela, e ao longo do movimento as várias folhas constituintes vão-se encostando umas às outras. A nível de acessórios são constituídas por dobradiças existentes nas ligações entre as várias folhas e por sistemas de roldanas que permitam a translação horizontal das mesmas. Apresenta como grande vantagem o facto de conseguir libertar grande parte do vão e poder regular a ventilação. De fácil limpeza

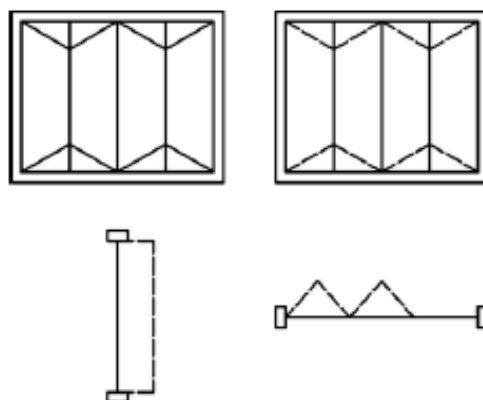


Fig. 2.20 - Janela acordeão [2]

2.2. MATERIAIS MAIS UTILIZADOS EM CAIXILHARIAS

Para a escolha de uma caixilharia, a definição do material é tão importante como o tipo de janela. Diferentes materiais apresentam características distintas.

Existe uma grande variedade de caixilharias no mercado, executadas com os mais diversos materiais, PVC, madeira, alumínio, aço galvanizado, poliuretano, fibra de vidro, com inúmeros acessórios, possibilitando várias formas de abertura e de contacto com o mundo exterior. Existem até soluções onde se conjugam diversos materiais como madeira e alumínio. Pretende-se caracterizar as caixilharias na óptica dos materiais constituintes de maneira a perceber as vantagens e desvantagens no que toca à escolha do material que a compõe.

2.2.1. CAIXILHARIAS EM PVC [5]

As principais características do material PVC (policloreto de vinilo) são o bom comportamento acústico e térmico, a facilidade de atribuição de cores ainda na fase de matéria-prima, embora tenha uma oferta de tons limitada, estabilidade de dimensões, bom comportamento face a incêndios e uma boa estanquidade à água e ao vento. No entanto a exposição ao sol e a temperaturas elevadas pode levar ao envelhecimento precoce, com mudança de cores para tons amarelados e a possível libertação de gases tóxicos.

2.2.2. CAIXILHARIAS EM MADEIRA [5]

A madeira tem como principais trunfos o aspecto estético, o baixo factor de transmissão térmica e o facto de ser um material reciclável. No entanto apresenta alguns senãos. O facto de apresentar instabilidade mecânica quando sujeita a variações de temperatura e humidade constitui o principal problema deste tipo de caixilharias. Daqui resultam problemas na zona de contacto entre a caixilharia e o vão, que pode originar a entrada de água e um aumento da permeabilidade ao ar. O preço constitui também um problema, pode ficar sujeito a agentes biológicos quando não tratado adequadamente, e facilmente sujeito a deformações quando sujeita a embates e, especialmente, ao corte.

2.2.3. CAIXILHARIAS EM AÇO GALVANIZADO [5]

As caixilharias em aço galvanizado têm como pontos fortes a boa resistência mecânica, a facilidade de manipular e o preço barato. No entanto, apresentam elevado coeficiente de transmissão e dilatação térmica, facilidade de corrosão, quando em contacto com ambientes ou produtos que contenham humidade, e a dificuldade de obter boa estanquidade à água. Aquando da colocação em obra, apesar do processo ser simples, podem surgir embates nas caixilharias que podem comprometer a estanquidade da janela. Isto associado ao baixo número de acessórios que existem, podem tornar a estanquidade num verdadeiro problema.

2.2.4. CAIXILHARIAS EM ALUMÍNIO [5]

O alumínio é actualmente um dos materiais mais utilizados no mundo da construção. Pode ter uma função meramente estética, como elemento decorativo de interiores, ou então pode ser aplicado em elementos como caixilharias dos vãos ou guardas.

Características como estabilidade dimensional, boa resistência mecânica, elevada resistência à corrosão, baixa densidade e durabilidade, justificam a sua escolha. No entanto apresentam certas debilidades como a elevada condução térmica e eléctrica, que pode comprometer a sua utilização. Hoje em dia tratamentos superficiais e a adopção de cortes térmicos no interior das caixilharias permitem um certo controlo destes parâmetros e consequentemente uma melhoria do seu desempenho.

Há até situações em que se conciliam vários materiais como por exemplo madeira e alumínio, numa tentativa de conciliar as características de ambos, melhorando o seu desempenho e respondendo às exigências estéticas.

2.2.5. CAIXILHARIAS DE POLIURETANO [5]

Este tipo de caixilho é formado com base num material termo-endurecido e oferece uma grande variedade de concepção e uma melhoria do desempenho térmico e acústico deste tipo de janelas.

2.2.6. CAIXILHARIAS DE FIBRA DE VIDRO [6, 7]

Este tipo de caixilharias apresenta como principais vantagens o elevado desempenho térmico, pode até chegar a ser superior ao da madeira e do PVC quando se encontra combinado com materiais isolantes, melhor resistência mecânica e com menor coeficiente de dilatação térmica, podendo por isso ter secções mais delgadas e consequentemente ocupar menos espaço. Além destas características ainda se apresenta quimicamente inerte, pouco prejudicial a nível ambiental e a cor é facilmente estabelecida.

No entanto também apresenta desvantagens como, por exemplo, o facto de ser um material combustível.

2.2.7. CAIXILHARIAS MISTAS

As caixilharias compostas surgem como uma optimização das propriedades de um determinado material na óptica das caixilharias, existindo vários modelos no mercado como por exemplo, caixilharias mistas madeira/alumínio, caixilharias mistas madeira/cortiça e caixilharias mistas madeira/fibra-de-vidro.

2.2.8. CAIXILHARIA MISTA MADEIRA/ALUMÍNIO [5, 8]

A caixilharia é composta essencialmente por madeira e é reforçado exteriormente com perfis em alumínio. Assim consegue-se obter uma maior resistência aos agentes agressores e menor necessidade de manutenção, não perdendo o efeito estético da madeira no interior. É colocado um perfil em PVC entre a madeira e o alumínio para servir de corte térmico.

No entanto também apresenta alguns problemas, nomeadamente na face interior. A ocorrência de condensações pode levar ao aparecimento de manchas na madeira e eventualmente chegar a apodrecer ou sofrer empenos. Hoje em dia com a melhoria dos tratamentos para madeira e recorrendo a sistemas de ventilação da madeira, os problemas devido a humidade são contornados.

2.2.9. CAIXILHARIA MISTA MADEIRA/CORTIÇA [6]

A implementação de cortiça dentro da caixilharia de madeira tem como objectivo aumentar o isolamento térmico. No entanto apresenta muitas desvantagens pois é composta essencialmente por madeira. As principais vantagens serão o efeito estético e o elevado desempenho térmico e acústico.

2.2.10. CAIXILHARIA MISTA MADEIRA/FIBRA-DE-VIDRO

Este tipo de caixilharia permite conciliar a estética das peças de madeira e conseguir ao mesmo tempo uma maior resistência às intempéries e agentes erosivos. Apresenta elevado desempenho termoacústico, mantendo o efeito estético da madeira na face interior. Recorrendo ao reforço da face exterior com elementos de fibra de vidro, obtém-se uma janela com maior resistência às intempéries e consequentemente um aumento da durabilidade. De notar a facilidade de atribuição de cores à face exterior.

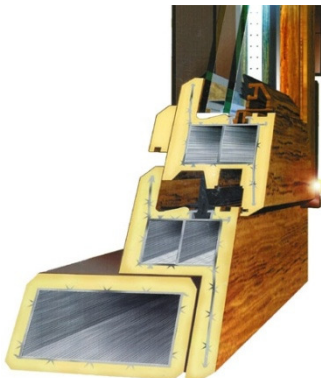
Quadro 2.1 – Principais vantagens e desvantagens para os diversos materiais constituintes de caixilharias

Material	Principais vantagens	Principais desvantagens
PVC (policloreto de vinilo) 	• Bom comportamento acústico e térmico • Facilidade de atribuição de cores • Estabilidade dimensional • Boa estanquidade à água e ao vento • Bom comportamento ao fogo	• Envelhecimento precoce • Amarelecimento • Eventual libertação de gases tóxicos

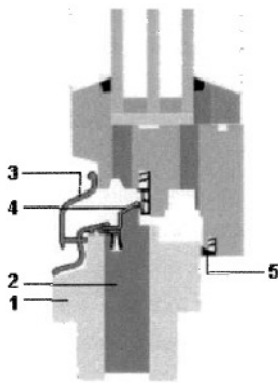
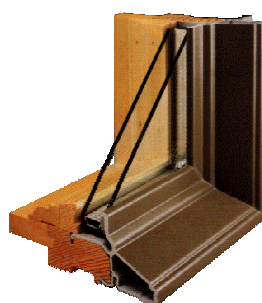
Quadro 2.1 – Principais vantagens e desvantagens para os diversos materiais constituintes de caixilharias
(continuação)

Material	Principais vantagens	Principais desvantagens
Madeira 	• Estética • Baixa transmissão térmica • Material reciclável	• Instabilidade dimensional quando sujeita a ambientes húmidos e mudanças de temperatura • Preço • Degrada-se facilmente sem protecção • Elevado custo de manutenção
Aço Galvanizado 	• Resistência mecânica • Facilidade de manipulação • Preço	• Elevada transmissão térmica • Elevada dilatação térmica • Corrosão
Alumínio 	• Estabilidade dimensional • Boa resistência mecânica • Elevada resistência à corrosão • Baixa densidade • Durabilidade	• Elevada condução térmica e eléctrica • Perdas energéticas significativas • Maior probabilidade de condensações superficiais

Quadro 2.1 – Principais vantagens e desvantagens para os diversos materiais constituintes de caixilharias (continuação)

Material	Principais vantagens	Principais desvantagens
Caixilharias de poliuretano 	- Melhor resistência às intempéries - Facilidade de limpeza - Desempenho acústico e térmico - Liberdade de concepção	Preço
Caixilharias de fibra de vidro 	- Baixa condutividade térmica - Estabilidade dimensional - Elevada resistência mecânica - Quimicamente inerte - Baixo impacto ambiental - Baixo coeficiente de dilatação térmica - Durabilidade - Facilidade de atribuição de cores	- Preço - Limitação de cores - Cuidados extra na colocação - Dificuldade em reparar caso seja necessário
Caixilharia mista de madeira/alumínio 	- Efeito estético interior - Maior resistência aos agentes agressores - Durabilidade - Comportamento térmico e acústico	- Preço - Eventuais problemas devido a condensações na parte interior

Quadro 2.1 – Principais vantagens e desvantagens para os diversos materiais constituintes de caixilharias
(continuação)

Material	Principais vantagens	Principais desvantagens
Caixilharia mista de madeira/cortiça 	• Desempenho termoacústico • Estética	• Preço • Pouca protecção aos agentes erosivos • Pouca resistência às intempéries • Elevado custo de manutenção
Caixilharia mista de madeira/fibra de vidro 	• Desempenho termoacústico • Estética • Durabilidade • Maior resistência às intempéries • Facilidade de atribuição de cores	• Preço • Eventuais problemas devido a condensações na face interior

2.2.11. VIDRO [9]

O vidro, como elemento que constitui maioritariamente as caixilharias, tem um papel importante no comportamento e nas propriedades que impõe nestes elementos, nomeadamente no aspecto estrutural por ser o elemento que conduz as acções aos perfis de alumínio.

Este é composto por sílica, proveniente de areia siliciosa, óxido de cálcio, retirado do carbonato de cálcio, e óxido de sódio, retirado do carbonato de sódio ou sulfato de sódio. Depois é misturado com aditivos e é cozido a altas temperaturas, superiores a 1000°C.

As suas propriedades mais importantes são as suas características ópticas, térmicas, acústicas e mecânicas.

2.2.11.1. Propriedades ópticas [6, 10]

A radiação solar que atinge a superfície terrestre encontra-se dividida em 3 categorias:

- radiação ultravioleta (3% da radiação total) (0,28 a 0,38 μm)
- radiação visível (42% da radiação total) (0,38 a 0,78 μm)
- radiação infravermelha (55% da radiação total) (0,78 a 2,5 μm)

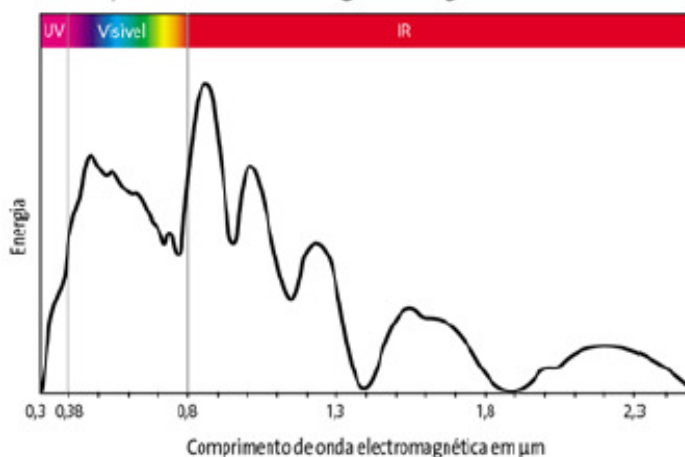


Fig. 2.21 - Espectro da radiação solar segundo EN 410 [10]

Da radiação que atinge o vidro, uma parte é absorvida, outra é reflectida e outra é transmitida. A relação entre as três componentes define o factor de reflexão, o factor de absorção e o factor de transmissão.

O vidro consegue transmitir radiações com comprimento de onda situado entre 300 e 2500 nm. Para radiações ultravioletas abaixo dos 315 nm e para radiações infravermelhas acima de 2500 nm, este material torna-se opaco.

A iluminação é uma questão fundamental quando se fala dos vidros. Este deve assegurar a entrada de luz solar, garantindo boas condições de quantidade e distribuição luminosa. O conhecimento do factor de luz dia permite quantificar a quantidade de luz que entra num espaço interior.

Outro factor importante para as janelas é a orientação solar. Os envidraçados a Norte não beneficiam muito de exposição solar. Por isso todos os ganhos solares são importantes nesta direcção. Já os envidraçados a Sul têm muita exposição solar. Esta exposição solar deve ser optimizada para a estação de aquecimento e minorada no Verão de maneira a evitar o sobreaquecimento dos espaços interiores. Os vãos envidraçados orientados para Este e Oeste têm incidência máxima no Verão. É necessário dotar estes envidraçados de protecções para evitar o sobreaquecimento e o encadeamento nesta altura.

2.2.11.2. Propriedades térmicas [10, 11]

O vidro apresenta valores de calor específico próximos do granito e da pedra calcária e possui um elevado coeficiente de transmissão térmica, sendo necessário recorrer a vidros duplos com caixa-de-ar ou de outro gás, por exemplo argon, para fazer baixar este valor. Relativamente a alterações de comprimento, o vidro apresenta um valor do coeficiente de dilatação térmica igual a 9×10^{-6} , cerca do dobro do tijolo.

O factor solar de um vidro é importante na escolha de um envidraçado. Este define a relação entre a quantidade de energia solar que entra num espaço e a quantidade de energia incidente e depende de características como a posição em relação à fachada e à luz do dia. A energia solar que entra corresponde à soma entre o fluxo que é transmitido directamente e a quantidade de energia que o vidro transmite ao interior devido ao aquecimento pela radiação solar. O controlo deste parâmetro permite limitar os ganhos energéticos para a estação de aquecimento, evitando assim possíveis fenómenos de sobreaquecimento.

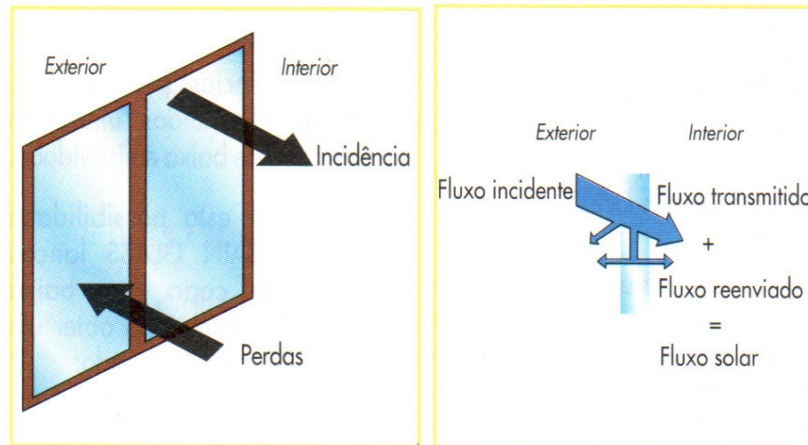


Fig. 2.22 – Fluxo incidente, transmitido e reenviado [10]

Relativamente ao conforto térmico, as superfícies de vidro podem originar algum desconforto quando na superfície interior há temperaturas baixas, motivada pelas trocas por radiação entre os seres humanos e a envolvente são a razão deste fenómeno. Uma solução que pode contribuir para controlar este fenómeno é adoptar vidros duplos, aumentando assim a temperatura superficial do vidro interior.

Outro aspecto que tem que ser controlado é o sobreaquecimento na estação de arrefecimento, Verão. A utilização de vidros de controlo solar permitem controlar os gastos energéticos relativos à climatização, contribuir para a diminuição do desconforto devido ao aumento de temperatura do ar interior e melhorar o conforto visual.

2.2.11.3. Propriedades acústicas [5, 10]

O vidro é um bom condutor de sons devido à sua pequena espessura e consequentemente pequena massa. Geralmente recorre-se a vidros de maiores e diferentes espessuras, colocados assimetricamente e complementados com caixa-de-ar ou com outro gás, de maneira a aumentar a performance das caixilharias neste aspecto.

Um painel de vidro possui uma frequência para a qual vibra muito mais facilmente, chamada frequência crítica, para a qual a transmissão de sons é muito mais simples. Ao aumentarmos a espessura de um envidraçado estamos a diminuir as frequências críticas, aumentando a eficácia sonora do vidro.

2.2.11.4. Propriedades mecânicas [10]

Uma vez que o objectivo geral deste trabalho é caracterizar caixilharias no aspecto estrutural e que o vidro tem um papel importante na distribuição de esforços, as propriedades mecânicas do vidro são importantes.

O vidro é um material elástico que possui uma resistência muito elevada à compressão, 1000 MPa, e baixa resistência à tracção. Quando sujeito a flexões, este suporta a deformação até dado ponto e quebra repentinamente sem avisar. A sua resistência à flexão situa-se entre os 40 e os 200 MPa, dependendo se estamos perante um vidro polido recozido ou um vidro temperado.

Quando sujeito a variações bruscas de temperatura pode conduzir a quebras repentinas, as chamadas roturas térmicas, devido à baixa condutividade térmica que o vidro apresenta, provocando tensões internas elevadas. O coeficiente de dilatação térmica do vidro é de 9×10^{-6} , cerca de metade da madeira e uma duas vezes e meia inferior ao alumínio.

Quadro 2.2 - Coeficientes de dilatação linear para diversos materiais em relação ao vidro [10]

Coeficiente de dilatação linear	Relação aproximada
Madeira (pinheiro)	4×10^{-6} 0,5
Tijolo	5×10^{-6} 0,5
Pedra (calcário)	5×10^{-6} 0,5
Vidro	9×10^{-6} 1
Aço	12×10^{-6} 1,4
Cimento (argamassa)	14×10^{-6} 1,5
Alumínio	23×10^{-6} 2,5
Cloreto de polivinil (PVC)	70×10^{-6} 8

O coeficiente de poisson associado ao material vidro é de 0,22, permitindo perceber a relação entre a deformada longitudinal e a transversal. Quando um provete é traccionado há um alongamento do seu comprimento, deformação longitudinal, que implica uma diminuição da secção da peça ensaiada, deformação transversal.

2.2.12. ACESSÓRIOS [5, 12]

A quantidade de acessórios existentes para caixilharias é enorme. O número de acessórios num vão depende do tipo de janela escolhido, do seu tamanho e da pressão a que vai estar sujeito. O desempenho das caixilharias está directamente ligado com o comportamento dos seus acessórios quando sujeitos às intempéries. Um mau dimensionamento destes elementos pode implicar entrada de ar ou até mesmo água e, se atingirem o estado limite último, pode comprometer a segurança dos ocupantes de um determinado espaço.

Estes componentes devem ser do mesmo material que a caixilharia e ter o mesmo tratamento superficial, no caso de serem visíveis. Os materiais mais utilizados para este tipo de componente são o alumínio e o aço inoxidável.

Os problemas mais comuns resultam principalmente de uma escolha inadequada, devido a um estudo pouco aprofundado ainda em fase de projecto. No entanto também podem surgir erros de uma colocação em obra deficiente, originando uma má distribuição de esforços o que pode levar a empenos.

2.3.EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO APLICÁVEIS A CAIXILHARIAS

As caixilharias como elementos definidores da envolvente de um edifício, têm que conseguir satisfazer as exigências dos utilizadores.

Este subcapítulo permite esclarecer quais as principais exigências a satisfazer pelas caixilharias e conseguir estabelecer uma relação entre as exigências e a normalização existente.

2.3.1. ESTABILIDADE

Relativamente à estabilidade, as caixilharias têm que conseguir resistir à acção do vento e ao choque de corpos sólidos.

2.3.1.1. Resistência ao vento [5]

A acção do vento é a solicitação mais desfavorável em caixilharias. É esta que dita o dimensionamento dos perfis. Actualmente é a norma EN 1991-1-4: 2010 [13] que define a acção do vento em edifícios e consequentemente em caixilharias.

O dimensionamento de caixilharias é operação fundamental tanto para garantir a segurança dos utilizadores, mas também para conseguir cumprir os requisitos térmicos.

As elevadas deformações podem diminuir o desempenho das juntas e aumentar a entrada de ar exterior no interior, aumentando as perdas energéticas e o consumo de energia para manter o espaço com as condições ideais.

Se estivermos perante deformações muito severas, a entrada de água pode verificar-se. Esta pode dar origem a danos, como empenamentos ou corrosão se tiverem sido colocadas caixilhos de madeira ou aço.

A metodologia e classificação dos ensaios de resistência ao vento para janelas e portas aparecem descritos nas normas EN 12211 [14] e EN 12210 [15], respectivamente.

Para fachadas a norma de ensaio EN 12179 [16] dita o método de ensaio.

2.3.1.2. Resistência ao choque de corpos sólidos [5]

Relativamente à resistência ao choque de corpos sólidos nas caixilharias, estas devem ser capazes de absorver impactos até determinado limite, especialmente os de pessoas. O elemento mais desfavorável do ponto de vista dos impactos é o vidro, embora se consiga hoje em dia obter vidros de elevada resistência ao impacto.

Nas fachadas, o impacto pode danificar a estrutura, mas não deve pôr em perigo a saúde das pessoas localizadas na proximidade. Se uma pessoa embater na fachada não deve poder atravessá-la.

O procedimento de ensaio, classificação e critérios de segurança de janelas relativamente ao choque de objectos pesados e leves aparece definido na norma EN 13049 [17].

O ensaio aos choques acidentais de vidros temperados e laminados aparece definido nas normas EN 12150 [18] e EN 12543-2 [19], respectivamente.

A norma EN 356 [20] dita os procedimentos de ensaio contra a intrusão e vandalismo para vidros laminados de segurança e a norma EN 1063 [21] dita os critérios de ensaio para armas de caça, espingarda ou pistola para o mesmo tipo de vidros.

2.3.1.3. Resistência mecânica [22]

A avaliação das janelas e portas a esforços últimos tem significado na medida em que se pretende caracterizar estes elementos, embora praticamente nunca cheguem a esse limite ao longo do seu tempo de vida.

O ensaio de resistência mecânica é elaborado em duas fases. A primeira envolve um ensaio a esforços violentos seguido de um ensaio de torção. A segunda fase consiste em aplicar o ensaio de forças de manobra.

Os ensaios da primeira fase devem ser executados segundo as normas EN 14608 [23] e EN 14609 [24]. O ensaio da segunda fase encontra-se definido na norma EN 12046-1 [25]. A classificação vem definida na norma EN 13115 [26].

Para portas pedonais exteriores, os ensaios são feitos segundo as normas EN 947 [27], EN 948 [28], EN 949 [29] e EN 950 [30]. A classificação aparece definida na norma EN 1192 [31].

2.3.2. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

2.3.2.1. Resistência ao fogo [6, 22]

A capacidade que os componentes têm para se opor à acção de um incêndio, define a resistência ao fogo. Os 4 critérios para a classificação de caixilharias segundo a Comissão Europeia de 3 de Maio de 2000 sobre a Directiva 89/106/CEE [32] são a resistência mecânica, R, a estanquidade às chamas e gases quentes, E, o isolamento térmico, I, e a radiação, W.

Com base na análise podem ser atribuídas 3 categorias:

- EF – Estabilidade ao fogo: critério R
- PC – Pára-chamas: critério E e/ou W
- CF – corta-fogo: critério E e I

Por último a classificação em relação à resistência ao fogo é concluída com a atribuição do tempo que a caixilharia aguenta, segundo a seguinte escala: 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 ou 360.

A norma EN 13501-2 [33] define as características de resistência ao fogo para janelas de cobertura.

2.3.2.2. Reacção ao fogo [34, 22]

A reacção ao fogo traduz a possibilidade de um material se tornar combustível num incêndio.

A norma EN 13501-1 [35] define as características de reacção ao fogo para janelas de cobertura.

As Decisões Comunitárias 2000/147/CE [36] e 2003/632/CE [37] definem a classificação da reacção ao fogo para os materiais de construção. O seguinte quadro resume as classes, as normas de ensaio, critérios de classificação e a classificação complementar.

Quadro 2.3 - Definição das classes de Fumos [6]

	s1	s2	s3
Fumos	Pouca opacidade $\text{SMOGR} = 30 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ e $\text{TSP}_{600\text{s}} = 50 \text{ m}^2$	Opacidade $\text{SMOGR} = 180 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ e $\text{TSP}_{600\text{s}} = 200 \text{ m}^2$	Muita opacidade Nem s1, nem s2

Quadro 2.4 - Definição de classes de Gotas ou Partículas Inflamadas [6]

	d0	d1	d2
Gotas ou Partículas Inflamadas	No ensaio SBI não se verifica libertação em 600 s.	No ensaio SBI não se verifica a libertação de duração superior a 10 s em 600 s.	Nem d0, nem d1; ignição

Quadro 2.5 - Euroclasses de reacção ao fogo com métodos de ensaio, critérios de classificação e classificação complementar [34]

Classe	Método de ensaio	CrITÉRIOS de classificação	Classificação complementar
A1	EN ISO 1182 ⁽¹⁾ e EN ISO 1716	$\Delta T \leq 30^\circ\text{C}$ e $\Delta m \leq 50\%$ e $T_f = 0$ (ausência de chamas persistentes)	-
		$\text{PCS} \leq 2,0 \text{ MJ} \cdot \text{Kg}^{-1(1)}$ e	
		$\text{PCS} \leq 2,0 \text{ MJ} \cdot \text{Kg}^{-1(2)}$ e	
		$\text{PCS} \leq 1,4 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2(3)}$ e $\text{PCS} \leq 2,0 \text{ MJ} \cdot \text{Kg}^{-1(4)}$	
A2	EN ISO 1182 ⁽¹⁾ e EN 13823	$\Delta T \leq 50^\circ\text{C}$ e $\Delta m \leq 50\%$ e $t_f \leq 20 \text{ s}$	-
		$\text{PCS} \leq 3,0 \text{ MJ} \cdot \text{Kg}^{-1(1)}$ e	
		$\text{PCS} \leq 4,0 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2(2)}$ e	
		$\text{PCS} \leq 4,0 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2(3)}$ e $\text{PCS} \leq 3,0 \text{ MJ} \cdot \text{Kg}^{-1(4)}$	

Quadro 2.5 - Euroclasses de reacção ao fogo com métodos de ensaio, critérios de classificação e classificação complementar [34] (continuação)

Classe	Método de ensaio	Critérios de classificação	Classificação complementar
A2	EN ISO 1182 ⁽¹⁾ e EN 13823	FIGRA ≤ 120 W.s ⁻¹ e LFS < bordo do provete e THR _{600s} ≤ 7,5 MJ	Produção de fumo: s1, s2 ou s3 ⁽⁵⁾ e Gotas ou partículas inflamadas: d0,d1 ou d2 ⁽⁶⁾
	EN 13823 e EN ISO 11925-2 Exposição = 30s	FIGRA ≤ 120 W.s ⁻¹ e LFS < bordo da provete e THR _{600s} ≤ 7,5 MJ FS ≤ 150mm em 60s	Produção de fumo: s1, s2 ou s3 ⁽⁵⁾ e Gotas ou partículas inflamadas: d0,d1 ou d2 ⁽⁶⁾
C	EN 13823 e EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ Exposição =30s	FIGRA ≤ 250 W.s ⁻¹ e LFS < bordo da amostra e THR _{600s} ≤15MJ FS ≤ 150mm em 60s	Produção de fumo: s1, s2 ou s3 ⁽⁵⁾ e Gotas ou partículas inflamadas: d0,d1 ou d2 ⁽⁶⁾
	EN 13823 e EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾	FIGRA ≤ 750W.s ⁻¹ FS ≤ 150 mm em 60s	Produção de fumo: s1, s2 ou s3 ⁽⁵⁾ e Gotas ou partículas inflamadas: d0,d1 ou d2 ⁽⁶⁾
D	EN 13823 e EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾	FIGRA ≤ 750W.s ⁻¹ FS ≤ 150 mm em 60s	Produção de fumo: s1, s2 ou s3 ⁽⁵⁾ e Gotas ou partículas inflamadas: d0,d1 ou d2 ⁽⁶⁾
	EN 13823 e EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ Exposição =15s	FS≤150mm em 20s	Gotas ou partículas Inflamadas: n/class ou d2 ⁽⁷⁾
F	Desempenho não determinado		

Legenda: ΔT – aumento da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) Δm – perda de massa (%) t_f – tempo de presença da chama – duração da chama persistente (s)PCS – poder calorífico superior (MJ kg^{-1} ; MJ kg^{-2} ou MJ m^{-2})FIGRA – taxa de propagação do fogo (W.s^{-1})THR_{600s} – calor total libertado em 600 s (MJ)

LFS – propagação lateral das chamas – comparado com o bordo da amostra (m)

FS - propagação das chamas (mm)

SMOGR – taxa de crescimento do fumo ($\text{m}^2.\text{s}^{-2}$)

TSP_{600s} – produção de fumo em 600s (m^2) [3]

(1) Para produtos homogêneos e componentes substanciais de produtos não homogêneos

(2) Para qualquer componente não-substancial externo de produtos não homogêneos

(2a) Alternativamente, qualquer componente não-substancial externo com um $\text{PCS} \leq 2,0 \text{ MJ/m}^2$, desde que o produto satisfaça os seguintes critérios da EN 13823: $\text{FIGRA} \leq 20 \text{ W.s}^{-1}$; e $\text{LFS} < \text{bordo do provete}$; e $\text{THR}_{600s} \leq 4,0 \text{ MJ}$; e $s1$; e $d0$.

(3) Para qualquer componente não-substancial interno de produtos não-homogêneos

(4) Para o produto na sua totalidade

(5) $s1 = \text{SMOGR} \leq 30 \text{ m}^2.\text{s}^{-2}$ e $\text{TSP}_{600s} \leq 50 \text{ m}^2$; $s2 = \text{SMOGR} \leq 180 \text{ m}^2.\text{s}^{-2}$ e $\text{TSP}_{600s} \leq 200 \text{ m}^2$; $s3 = \text{nem } s1 \text{ nem } s2$

(6) $d0$ = Não se verifica a libertação de gotas/partículas inflamadas no ensaio EN 13823 (SBI) em 600s; $d1$ = Não se verifica a libertação de gotas/partículas inflamadas com duração superior a 10s no ensaio EN13823 (SBI) em 600s; $d2 = \text{nem } d0 \text{ nem } d1$; a ignição do papel no ensaio EN ISO 11925-2 determina a classificação em $d2$.

(7) Satisfatório = ausência de ignição do papel (nenhuma classificação); Não-satisfatório = Ignição do papel (classificação $d2$)

(8) Em condições de ataque da superfície pelas chamas e, se adequado às condições de utilização final do produto, de ataque da face ou aresta lateral pelas chamas.

2.3.3. SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO [22]

Do manuseamento das caixilharias ou dos componentes das fachadas não deve resultar qualquer tipo de risco, nem para o utilizador nem para pessoas localizadas na envolvente.

O fabricante deve especificar os materiais constituintes utilizados e verificar se estes são ou não susceptíveis de libertar gases ou substâncias tóxicas quando submetidos aos agentes agressores e assim comprometer o ambiente e a saúde dos utilizadores.

2.3.3.1. Operações de manobra [22]

O construtor deve garantir a segurança dos acessórios relativamente às operações de manobra. As janelas manobradas manualmente devem respeitar a norma de ensaio 12046-1 [25] e devem ser classificadas de acordo a norma EN 13115 [26]. A norma EN 12046-2 [38] especifica o procedimento de ensaio para portas pedonais exteriores manobradas manualmente que devem ser classificadas segundo a norma EN 12217 [39].

Ainda dentro da temática da segurança na utilização de janelas e portas, a norma EN 1191 [40] esclarece os procedimentos de ensaio para manobras repetidas de abertura e fecho destes equipamentos, e a norma EN 1627 [41] faz a respectiva classificação.

2.3.4. SEGURANÇA DOS OCUPANTES

A segurança é uma das grandes preocupações da sociedade actual. As janelas e portas como elementos fronteira entre um espaço interior e o exterior adquirem elevada importância na óptica da segurança. Apesar de serem constituídos por uma parte mais sólida, a zona da caixilharia, a maior parte da área é constituída por vidro, elemento que resiste pouco à flexão, partindo facilmente. Os mecanismos de segurança como os dispositivos de fecho também são alvo de estudo e de classificação. As normas existentes vêm contribuir para a caracterização dos índices de segurança relativamente a portas e janelas e contribuir para adequar as necessidades de segurança em função das características do vão.

2.3.4.1. Resistência mecânica dos dispositivos de segurança [22]

Os acessórios existentes numa janela podem ter várias funções. Dobradiças, pontos de fecho e sistemas de fecho com ou sem cremone são exemplo de dispositivos que contribuem para o funcionamento estrutural de uma janela, mas também asseguram a habitabilidade em segurança do espaço interior.

Estes elementos são ensaiados segundo as normas EN 14609 [24] ou EN 948 [28].

2.3.4.2. Resistência à intrusão [22, 42]

As janelas e portas exteriores como atrás foi referido, são elementos que fazem a ligação entre o interior dos edifícios e o exterior. Estes devem garantir a privacidade dos ocupantes, devendo por isso dificultar ao máximo a entrada de pessoas estranhas.

Mais uma vez o vidro aparece como elemento mais desfavorável no que toca à resistência à intrusão. No entanto já existem soluções no mercado que tentam ao máximo dificultar a entrada de intrusos.

O vidro anti-vandalismo caracteriza-se por ser um vidro multilaminado, de elevada resistência a impactos de pedras, marretas, pés-de-cabra, entre outros. É composto por camadas de polivinil butiral (PVB) ou resina, intercaladas com placas de vidro.

A resistência à intrusão remete para as normas ENV 1628 [43], ENV 1629 [44] e ENV 1630 [45]. A classificação dos resultados dos ensaios vem definida na norma ENV 1627 [41].

2.3.4.3. Resistência à bala [22, 46]

As janelas são constituídas essencialmente por dois componentes e um deles tem um carácter muito frágil, o vidro. Actualmente existem vidros de alta performance na segurança dos utilizadores relativamente ao impacto de balas. O vidro blindado apresenta elevada resistência à entrada de projecteis, embora apresente custos elevados, não sendo por isso viável a sua aplicação na construção.

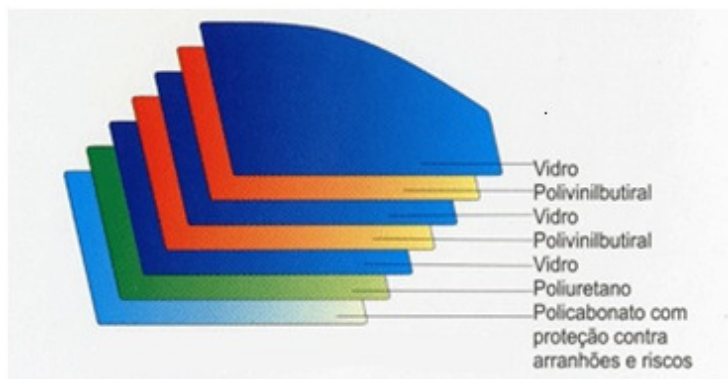


Fig. 2.23 - Constituintes do vidro blindado [47]

O seu processo de fabrico consiste em laminar placas de vidro com películas de PVB e policarbonato, variando o número de camadas em função do nível de segurança pretendido. Neste tipo de vidros a energia do impacto da bala é absorvida e depois dissipada pelas diferentes camadas que compõem o vidro.

O ensaio ao impacto de uma bala aparece definido na norma EN 1523 [48] e a respectiva classificação vem descrita na norma EN 1522 [49].

2.3.4.4. Resistência à explosão [22, 50]

Tal como no impacto de balas, o vidro aparece como elemento mais desfavorável.

O princípio de funcionamento de vidros anti-explosão é parecido ao método de funcionamento de vidros anti-bala, ou seja, absorver a onda expansiva resultante da explosão. Os vidros ao receberem a onda de choque resultante da explosão, deformam-se e partem, dissipando assim a energia da explosão.

Diferentes níveis de impacto correspondem a diferentes concepções o que implica uma definição prévia do nível de segurança pretendido.

A resistência à explosão define-se com base em dois ensaios, o ensaio “shock tube” e o ensaio de alcance. O ensaio de “shock tube” aparece definido na norma EN 13124-1 [51] e classificam-se os resultados com base na norma EN 13123-1 [52]. O segundo ensaio fica definido pela norma EN 13124-2 [53] e classifica-se de acordo com a norma EN 13123-2 [54].

2.3.5. ESTANQUIDADE

2.3.5.1. Permeabilidade ao ar [6, 55]

A permeabilidade ao ar das caixilharias é fundamental para garantir o equilíbrio térmico interior. A permeabilidade ao ar tem influência directa na quantidade de energia necessária para aquecimento e arrefecimento de um espaço. No entanto é necessário ventilar os espaços interiores para ocorrer a troca de ar e aumentar assim a qualidade deste.

O Regulamento do Características do Comportamento Térmico de Edifícios [55] define que a taxa de renovação horária mínima para haver qualidade do ar interior é de 0,6 renovações horárias.

Para fachadas a permeabilidade ao ar é tão baixa que não tem influência nos gastos de energia para manter o equilíbrio térmico.

Segundo a norma EN 1026 [56], devem ser executados dois testes, um para pressões positivas e outro para pressões negativas. O método de teste está descrito na referida norma. O método de classificação aparece descrito na norma EN 12207 [57].

No caso de fachadas, os testes devem ser feitos de acordo com as normas EN 12153 [58]. A classificação aparece definida na norma EN 12152-2 [59].

2.3.5.2. Estanquidade à água [60]

Garantir a estanquidade à água da chuva é essencial para criar condições de habitabilidade num espaço. As caixilharias devem ser estanques para condições de chuva e vento que aconteçam, em média, uma vez em cada três anos. No entanto nem sempre isso acontece. As principais causas associadas à falta de estanquidade das janelas são a deficiente pormenorização durante a fase de projecto e os erros decorrentes na sua execução.

O efeito conjunto da chuva e do vento fazem com que a passagem de água através das juntas seja a principal forma de entrada de água para o interior, nomeadamente nas janelas de correr. As juntas nas caixilharias podem dividir-se em dois grandes tipos: móveis e fixas.

As móveis podem ser divididas em dois subtipos, as juntas por compressão e as juntas deslizantes. Tanto um tipo como outro podem fazer a ligação entre elementos móveis e fixos ou entre dois elementos móveis. A utilização de um determinado tipo de junta depende do tipo de janela.

As juntas fixas estão presentes na ligação entre o caixilho e o vão, entre o caixilho e os vidros e entre os elementos do caixilho.

A entrada de água por estas juntas pode-se dar de diversas formas. As mais comuns são as penetrações por energia cinética, capilaridade, gravidade, sobrepressão do vento e através de correntes de ar, variando também em função do tamanho

Para juntas superiores a 5 mm, a entrada de água pode dar-se por corrente de ar ou pela energia cinética da chuva. Para juntas com menos de 0,5 mm a entrada de água dá-se por capilaridade e para valores superiores a entrada de água pode dar-se por gravidade. As infiltrações por acção da pressão do vento dá-se para aberturas intermédias entre 0,01 mm e 6 mm.

As caixilharias antes de serem colocadas em obra deverão ser ensaiadas segundo normas de maneira a prever o seu comportamento na vida real. O método de ensaio para avaliar a estanquidade à água de caixilharias está descrito na norma EN 1027 [60] e a sua classificação está definido na norma EN 12208 [61].

2.3.6. CONFORTO HIGROTÉRMICO

2.3.6.1. Isolamento térmico [6, 55, 22]

Para uma análise das propriedades térmicas de uma janela, nomeadamente a questão do isolamento, é necessário ter em conta os diversos constituintes.

Fazendo uma análise geral ao comportamento térmico de uma janela, esta permite trocas de calor para o exterior durante a estação de aquecimento e entrada de radiação solar para o interior no Verão. Torna-se assim necessário controlar as perdas e os ganhos térmicos destes elementos que podem comprometer o conforto térmico interior.

O Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [55], tem em conta os ganhos e as perdas dos envidraçados no espaço interior. Este documento impõe condições a vãos envidraçados não orientados a Norte e com uma área de envidraçado superior a 5% da área útil do pavimento que servem.

Os caixilhos, dependendo do tipo de material, possuem diversas condutividades térmicas. Podemos ter caixilhos de elevado desempenho térmico feitos com materiais como fibra de vidro, PVC e madeira, e caixilhos com elevada condutividade térmica como o alumínio. Actualmente existem medidas que visam contornar o problema da condutividade térmica e tornar estes elementos mais cómodos termicamente, através da adição de cortes térmicos aos perfis com elementos em poliamida e a adopção de caixilharias mistas, como as caixilharias mistas de madeira/alumínio e pvc/alumínio.

Uma vez que a área ocupada pelo caixilho é mínima quando comparada com a área envidraçada, este componente não dita o comportamento térmico de uma janela, embora o possa influenciar. A escolha do tipo de vidro a inserir num vão é essencial para controlar os ganhos e as perdas térmicas de um espaço interior. A utilização de vidros duplos passou a ser mais comum e conseguiu-se assim tirar partido da particularidade do ar ser um baixo condutor térmico. Para conseguir um desempenho mais elevado dos envidraçados dentro da óptica do isolamento térmico, pode ainda recorrer-se a películas que permitem baixar a emissividade do vidro.

De maneira a quantificar e a perceber como uma janela pode influenciar o aspecto térmico dos compartimentos interiores, a norma EN ISO 10077-1 [61] permite calcular o coeficiente de transmissão térmica de janelas e portas. Este coeficiente também pode ser calculado com base em ensaio de câmara quente, a partir das normas EN ISO 12567-1 [62] ou EN ISO 12567-2 [63].

A transmissão térmica de fachadas aparece definida na norma prEN 13947 [64].

2.3.6.2. Transmissão da energia luminosa [6,10]

A radiação solar quando incide um envidraçado divide-se em três partes. Uma parte é reflectida, outra é absorvida e outra parte é transmitida. A energia transmitida ao compartimento pela radiação solar pode ser quantificada com base em factores que exprimem a divisão da incidência solar, factores de transmissão, reflexão e absorção da energia solar.

Os coeficientes de absorção, transmissão e reflexão permitem quantificar as respectivas radiações. A norma EN 410 [65] permite definir estes três factores.

2.3.6.3. Condensações [6]

O aparecimento de gotículas de água na superfície dos envidraçados é muito comum nas habitações. O fenómeno da condensação dá-se quando o ar interior tem uma temperatura de ponto de orvalho superior à temperatura superficial da face interior do vidro.

Este fenómeno pode dar origem a anomalias nos caixilhos das janelas. Por exemplo, o contacto entre caixilhos de madeira sem protecções e humidade constante pode originar empenos e apodrecimento da madeira, podendo até comprometer a abertura deste tipo de janelas.

As condensações dependem directamente de factores como a temperatura e humidade relativa do ar. As condensações podem dar-se em espaços onde a humidade relativa do ar é muito elevada ou onde há superfícies que tenham baixas temperaturas. Este problema pode ser resolvido com base em 3 considerações fundamentais: ventilar, isolar e aquecer. Ao ventilar renova-se o ar interior e

consequentemente baixa-se as condições de humidade relativa do ar. O isolamento permite ambientes interiores mais homogêneos e sem grandes variações de temperatura superficiais dos elementos construtivos. Ao aquecer estamos a fazer subir a temperatura do ar de maneira a que nunca chegue à temperatura de orvalho.

2.3.7. RENOVAÇÃO DO AR INTERIOR

2.3.7.1. Ventilação [66, 67]

Ventilar é essencial para garantir a qualidade do ar interior. As janelas como elementos que permitem o contacto entre o interior e o exterior adquirem por isso uma função importante.

A quantidade de vapor de água que um ser humano liberta no seu dia-a-dia é significativa. Quase todas as suas actividades têm como consequência a libertação de água.

Quadro 2.6 - Vapor de água libertado por dia nas principais actividades humanas [67]

Actividade	Vapor de água (g/dia)
Cozinhar a electricidade	2000
Cozinhar a gás	3000
Lavagem de loiça	400
Banho (por pessoa)	200
Lavagem de roupa	500
Secagem de roupa no interior de um compartimento (por pessoa)	1500

A ventilação dos edifícios aparece ligada a aspectos como a saúde dos ocupantes e a energia gasta num edifício. O acumular de todas estas quantidades de vapor de água, pode levar ao aparecimento de fungos devido às condensações. De maneira a ter uma ideia dos custos comportados, a ventilação pode ser equivalente a um terço do consumo de energia consumida para aquecimento no inverno.

A ventilação num edifício pode ser feita de duas maneiras: naturalmente ou recorrendo a sistemas mecânicos. Actualmente o sistema de ventilação dos edifícios é misto, recorrendo a sistemas mecânicos e a ventilação natural.

A norma NP 1037-1 [66] define os princípios que os mecanismos de ventilação natural têm que seguir para uma adequada ventilação de espaços interiores de edifícios de habitação. Esta impõe uma renovação horária para os compartimentos principais e quatro renovações horárias para os compartimentos de serviço.

A norma NP 1037-2 [68] define os princípios de ventilação mecânica para edifícios de habitação.

Os dispositivos de ar instalados em portas e janelas devem ser testados de acordo com a norma EN 13141-1 [69].

2.3.8. CONFORTO ACÚSTICO

2.3.8.1. Isolamento aos ruídos aéreos exteriores [6, 70, 10]

O ruído é a percepção auditiva de vibrações de determinada frequência, que se propagam pelo ar, líquido ou material sólido.

Há uma certa dicotomia entre o ar e o som, uma vez que este se propaga nele. Ao querermos eliminar ruído podemos estar a limitar a ventilação e ao ventilar um espaço de modo a garantir a qualidade do ar interior, estamos a criar pontos de entrada de ruído.

Assim, é de todo o interesse definir as necessidades acústicas de cada espaço. Há mecanismos que permitem a entrada de ar e que estão revestidos com material absorvente, permitindo assim um controlo mais rigoroso do ruído. Outra medida que se pode implementar é afastar ao máximo os espaços que necessitem de mais silêncio dos locais de maior produção de ruído.

Todos os elementos de construção têm a capacidade de atenuar os ruídos provenientes do exterior, geralmente ruídos de forte intensidade e baixa frequência, e o vidro, como componente maioritário das caixilharias e ao possuir um comportamento acústico deficiente, tem um papel importante na propagação do som.

A característica mais importante do ponto de vista acústico é o índice de atenuação. Este representa a reacção de um dado material a sons para uma determinada faixa de oitava, situada num intervalo de frequências entre 100 e 3150 Hz. A partir dos resultados obtidos pode-se esclarecer a resposta acústica desse material. Os valores considerados têm em conta dois espectros, o ruído rosa, com a mesma energia acústica em cada intervalo, e o ruído de tráfego rodoviário, de maneira a simular a resposta acústica ao tráfego diário.

A escolha dos elementos de construção é feita tendo em conta o índice referido. Estes são escolhidos de maneira a satisfazer o valor do isolamento acústico normalizado. Para aumentar a eficácia acústica dos vidros, deve-se utilizar vidros de diferentes espessuras, complementados com caixa-de-ar.

A norma EN ISO 717-1 [71] determina o isolamento sonoro a sons de condução aérea em edifícios e em elementos de construção.

A norma EN ISO 140 [72] determina as características de um elemento para cada um terço de oitava para frequências entre 100 e 3150 Hz.

Quadro 2.7 - Principais exigências e normas de ensaio e classificação associadas

Exigência	Norma de Ensaio	Norma de classificação/ cálculo
Resistência ao vento	EN 12211 EN12179	EN12210
ESTABILIDADE	EN 13049	EN 13049
	EN 12150	
	EN 1063	
	EN 356	

Quadro 2.7 - Principais exigências e normas de ensaio e classificação associadas (continuação)

Exigência	Norma de Ensaio	Norma de classificação/ cálculo	
ESTABILIDADE	Resistência mecânica	EN 14608	
		EN 14609	EN 13115
		EN 948	EN 1192
		EN 949	
		EN 950	
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS	Resistência ao fogo	-	Definido em 2.3.2.1. EN 13501-2
	Reacção ao fogo	-	Definido em 2.3.2.2. EN 13501-1
SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO	Operações de manobra	EN 12046-1	EN 13115
		EN 12046-2	EN 12217
		EN 1191	EN 1627
SEGURANÇA DOS UTILIZADORES	Resistência mecânica dos dispositivos de segurança	EN 14609 Ou EN 948	
	Resistência à bala	EN1523	EN 1522
	Resistência à intrusão	ENV 1628	
		ENV 1629	ENV 1627
		ENV 1630	
	Resistência à explosão	EN 13124 - 1 EN 13124 - 2	EN 13123 - 1 EN 13123 - 2
ESTANQUIDADE	Permeabilidade ao ar	EN 1026	EN 12207
		EN 12153	EN 12152
	Estanquidade à água	EN 1027	EN 12208
CONFORTO HIGROTÉRMICO	Isolamento térmico		EN 410
		EN ISO 12567-1	NP 10077-1
		EN ISO 12567-2	PrEN 13947
	Transmissão luminosa	-	EN 410 EN 13363-1 EN 13363-2

Quadro 2.7 - Principais exigências e normas de ensaio e classificação associadas (continuação)

Exigência	Norma de Ensaio	Norma de classificação/ cálculo	
RENOVAÇÃO DO AR INTERIOR	Ventilação	-	NP 1037-1
			NP 1037-2
			EN 13141-1
CONFORTO ACÚSTICO	Isolamento aos ruídos aéreos exteriores	-	EN ISO 717-1
			EN ISO 140

3

SÍNTESE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

3.1. DESCRIÇÃO SUCINTA DOS ENSAIOS [73]

A marcação CE apareceu com o intuito de defender os consumidores e marca os produtos que estão em conformidade com a legislação aplicada na Europa. Esta certificação sujeita os produtos a ensaios e impõe uma classificação de acordo com o desempenho registado e com base em normas europeias.

O grande objectivo deste tipo de normas e ensaios é garantir o correcto funcionamento dos produtos quando sujeitos às acções mais gravosas dentro da sua classe, sem pôr em risco a saúde e segurança dos utilizadores e o ambiente. Na óptica das caixilharias, estas imposições permitem assegurar a estanquidade dos caixilhos para a acção simultânea da chuva e do vento, limitar as perdas energéticas e contribuir para o aumento do conforto interior e garantir que estes não se deformem demasiado mantendo as suas propriedades resistentes.

O Laboratório de Sistemas e Componentes da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, faz a classificação de caixilharias no que toca à estanquidade à água, permeabilidade ao ar e resistência à deformação. O sistema de ensaio regista de forma simultânea, contínua e em tempo real dados referentes a diferenças de pressão, caudal de água e deslocamentos e é constituído por 3 componentes: uma câmara de ensaio, um sistema electromecânico e um sistema hidráulico.

O sistema electromecânico permite pressurizar e despressurizar a câmara de ensaio, simulando o efeito do vento, e o sistema hidráulico permite simular o efeito da chuva em fachadas através da aspersão de água nas janelas ou fachadas.

O sistema de ensaio é controlado informaticamente através de um computador, onde são introduzidos os dados necessários para o ensaio, nomeadamente a pressão de ensaio e o caudal de água. O sistema permite ainda registar as pressões e depressões na câmara de ensaio, o caudal de água e ar para determinação da estanquidade à água e ao ar e a medição de deslocamentos dos elementos do caixilho quando sujeitos às pressões/depressões.

3.2. RESULTADOS DOS ENSAIOS

A montagem das caixilharias para ensaio tem que seguir o procedimento de montagem em obra pelo próprio fabricante ou instalador. As normas ditam procedimentos para a preparação dos ensaios que devem ser seguidos.

3.2.1. ENSAIO DE PERMEABILIDADE AO AR [73, 56, 57]

A norma EN 1026 [56] define o método de ensaio de caixilharias relativamente à permeabilidade ao ar aplicando pressões positivas e negativas a uma caixilharia.

O ensaio de permeabilidade ao ar testa a caixilharia e a câmara de ensaio simultaneamente. O ensaio para pressões positivas consiste na aplicação de 3 patamares de pressão superiores à pressão máxima em 10 % ou a 500 Pa, o que for maior. Cada patamar tem no mínimo 3 segundos de pressão constante. Até 300 Pa os incrementos de pressão são de 50 Pa e a partir dessa pressão passam a ser de 150 Pa. Deve-se esperar que a pressão de ensaio estabilize antes de se medir a permeabilidade ao ar.

Para pressões negativas o processo de ensaio é análogo ao procedimento de ensaio para as pressões positivas.

O resultado obtido é um gráfico onde se registam o caudal de ar escoado pelo caixilho e a pressão de ensaio em função do tempo.

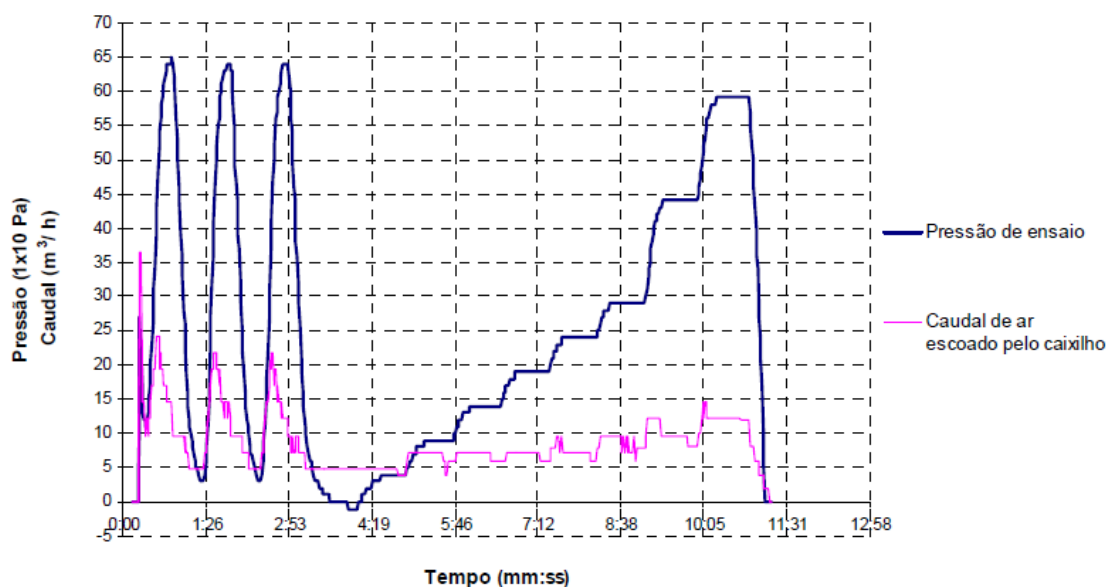


Fig. 3.1 – Evolução temporal da pressão e caudal ao longo do tempo num ensaio de permeabilidade ao ar [73]

Para garantir bons resultados dos ensaios é preciso ter alguns cuidados nomeadamente no controlo da temperatura e da humidade relativa do ar. Segundo a norma EN 1026 [56], a temperatura ambiente deve estar dentro de um intervalo compreendido entre 10°C e 30°C e a humidade relativa entre 25% e 75%.

Outro aspecto importante na análise da permeabilidade ao ar de caixilharias é a permeabilidade ao ar da câmara de ensaio. Uma vez que com o ensaio é medida a permeabilidade ao ar do conjunto (câmara de ensaio e caixilharia), o conhecimento da permeabilidade ao ar da câmara de ensaio é necessário para uma correcta interpretação dos resultados.

Admite-se que a permeabilidade da câmara de ensaio é nula se for inferior a 5% da permeabilidade máxima ao ar permitida para a amostra de ensaio. Caso ultrapasse esse valor, esta tem que ser medida segundo os procedimentos da referida norma e não pode ultrapassar 30% da permeabilidade do conjunto a ensaiar.

A classificação da caixilharia está definida na norma EN 12207 [57]. A classificação de uma caixilharia relativamente à permeabilidade ao ar é feita através de uma comparação entre a permeabilidade ao ar da amostra de ensaio em relação à superfície total e a sua permeabilidade ao ar em relação à junta de abertura. A classe é atribuída com base em dois quadros, um referente à permeabilidade da caixilharia em relação à sua superfície total e outro em relação à permeabilidade ao ar em relação ao comprimento das juntas. Estes quadros definem a permeabilidade ao ar em relação à pressão de referência de 100 Pa e definem também a pressão máxima de ensaio.

Para pressões diferentes de 100 Pa é preciso introduzir uma correcção nos valores do quadro.

Quadro 3.1 - Permeabilidade ao ar de referência a 100 Pa e pressões de ensaio relacionadas com a superfície total para as classes de 1 a 4 [57]

Classe	Permeabilidade ao ar de referência a 100 Pa ($\text{m}^3/\text{h.m}^2$)	Pressão máxima de ensaio (Pa)
0	Não ensaiado	
1	50	150
2	27	300
3	9	600
4	3	600

Quadro 3.2 - Permeabilidade ao ar de referência a 100 Pa e pressões máximas de ensaio, relacionadas com o comprimento das juntas de fecho, para as classes de 1 a 4 [57]

Classe	Permeabilidade ao ar de referência a 100 Pa ($\text{m}^3/\text{h.m}$)	Pressão máxima de ensaio (Pa)
0	Não ensaiado	
1	12,50	150
2	6,75	300
3	2,25	600
4	0,75	600

A norma diz que se a caixilharia tiver a mesma classe para a permeabilidade ao ar em relação à superfície total e para a permeabilidade ao ar em relação ao comprimento das juntas, a amostra de ensaio fica com essa mesma classe. Caso dê classes diferentes mas adjacentes, a amostra de ensaio fica com a classe mais favorável, ou seja, com a classificação inferior. Caso exista uma diferença de duas classes, a caixilharia fica com a classe média. Para uma diferença superior a duas classes, a amostra de ensaio não se classifica.

No final pode ser traçado um gráfico que situa o comportamento da caixilharia dentro das referidas classes.

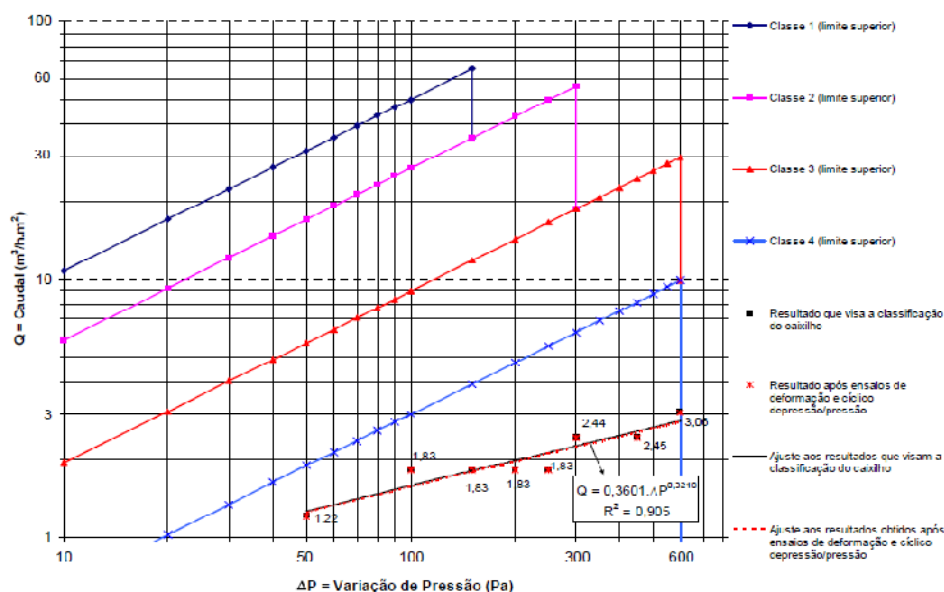


Fig. 3.2 – Exemplo de gráfico que permite situar o comportamento da amostra de ensaio em relação às diferentes classes [73]

3.2.2. ENSAIO DE ESTANQUIDADE À ÁGUA [60, 61]

A norma que define o processo de ensaio de caixilharias à estanquidade à água é a EN 1027 [60]. O ensaio consiste em submeter a caixilharia a um sistema de espalhamento de água na face exterior desta e combiná-la com pressões positivas durante intervalos de tempo. Ao longo do ensaio procede-se à recolha de dados, nomeadamente as pressões e os locais de aparecimento de água na face interior.

Numa primeira fase o sistema é montado em laboratório e a montagem não pode induzir esforços ou deformações na caixilharia e deve ficar com a superfície seca. Depois instala-se o sistema de esguichos que vai simular a acção da chuva, conforme a norma. Esta define o posicionamento e o número de aspersores, as condições que a água deve ter de modo a permitir um espalhamento uniforme.

Numa fase inicial é espalhada água pela fachada durante 15 minutos e sem pressões. Depois são aplicadas pressões na face exterior, aumentadas a cada 5 minutos. Até 300 Pa a pressão aumenta em intervalos de 50 Pa e a partir daí em intervalos de 150 Pa. A duração total do ensaio depende da estanquidade à água da amostra.

Deverá ser registado a pressão, o local do aparecimento de água na face interior, complementado com um esquema que situe essa zona na caixilharia, e o tempo que a amostra aguente sem penetração de água na pressão máxima.

O gráfico seguinte mostra a evolução da pressão de ensaio e do caudal de água em função do tempo.

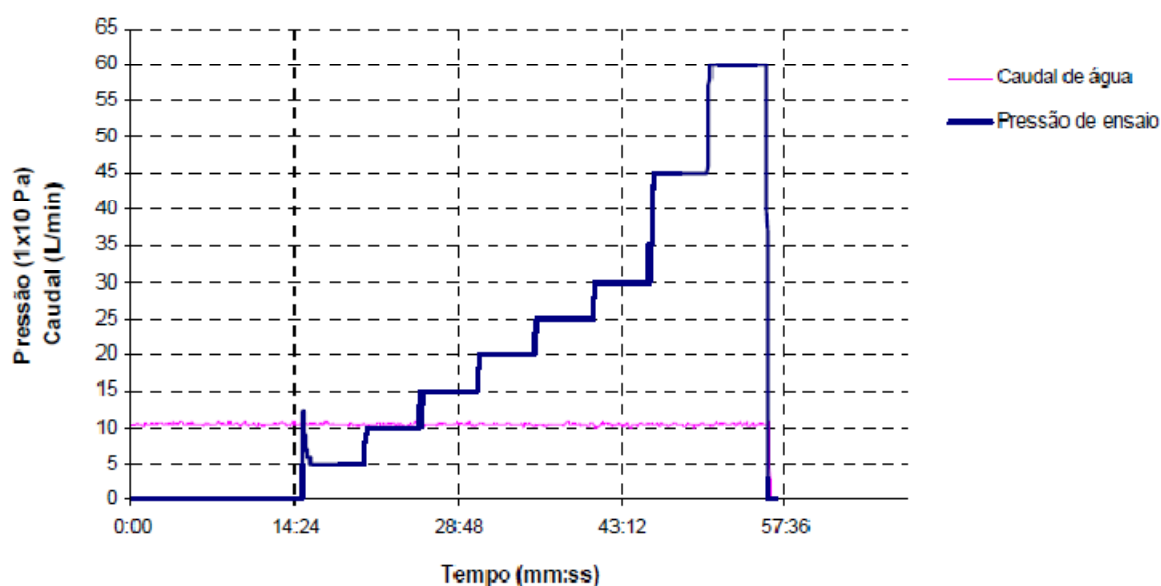


Fig. 3.3 - Evolução temporal da pressão e do caudal de água num ensaio de estanquidade à água [73]

A classificação de caixilharias no que toca à estanquidade à água aparece definida na norma EN 12208 [61], e encontra-se dividida em função da protecção do vão, método A para vãos totalmente expostos e método B para vãos parcialmente protegidos.

Modelos que permitem a entrada de água nos 15 minutos iniciais com pressões iguais a 0 Pa não podem ser classificados.

Os modelos que resistem a mais de 600 Pa com períodos mínimos de 5 minutos devem ser classificados com Exxx, onde xxx corresponde à pressão máxima que aguentam.

Quadro 3.3 - Classificação de caixilharias à estanquidade à água de acordo com a norma EN 12208 [61]

Pressão de teste P _{máx} (Pa)	Classificação		Especificações
	Método de teste A	Método de teste B	
0	1A	1B	Pulverização de água por 15 minutos
50	2A	2B	Conforme classe 1 + 5 minutos
100	3A	3B	Conforme classe 2 + 5 minutos
150	4A	4B	Conforme classe 3 + 5 minutos
200	5A	5B	Conforme classe 4 + 5 minutos
250	6A	6B	Conforme classe 5
300	7A	7B	Conforme classe 6

Quadro 3.3 - Classificação de caixilharias à estanquidade à água de acordo com a norma EN 12208 [61]
(continuação)

Pressão de teste P _{máx} (Pa)	Classificação		Especificações
	Método de teste A	Método de teste B	
450	8 ^a	-	Conforme classe 7
600	9A	-	Conforme classe 8
>600	Exxx	-	Acima de 600 Pa com incrementos de 150 Pa, a duração em cada patamar deve ser de 5 minutos.

3.2.3. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À DEFORMAÇÃO [14, 15]

O procedimento de ensaio à resistência à deformação de janelas e portas é definido na norma EN 12211 [14]. O ensaio é feito submetendo as amostras a séries de pressões positivas e negativas. Durante o ensaio são retiradas medições dos deslocamentos de modo a determinar a flecha frontal relativa e a resistência à acção do vento. A classe de resistência ao vento é determinada com base em 3 ensaios: ensaio de deformação, ensaio cíclico de pressão e o ensaio de segurança.

O primeiro ensaio consiste em avaliar a flecha frontal dos elementos centrais ou no elemento mais desfavorável a nível estrutural. São colocados transdutores de deslocamento nos extremos e a meio do elemento central.

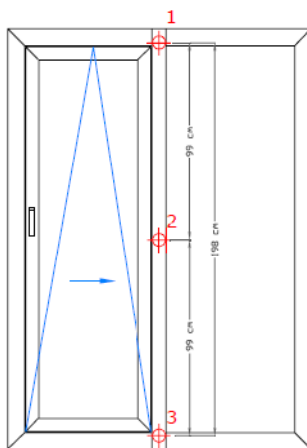


Fig. 3.4 - Esquema de montagem dos transdutores de deslocamentos [73]

Para pressões positivas aplicam-se 3 impulsos, cada um 10% maior que a pressão de ensaio P1.

De seguida deixa-se de aplicar a pressão e anota-se o valor inicial de flecha. Aplica-se a pressão P1 continuamente a uma velocidade que não exceda 100 Pa/s e deixa-se estar a pressão P1 durante 30 s e retiram-se as flechas e a localização da flecha no elemento. Deixa-se voltar a zero a uma velocidade não superior a 100 Pa/s e registam-se as deformações residuais.

Para pressão negativa o procedimento é análogo.

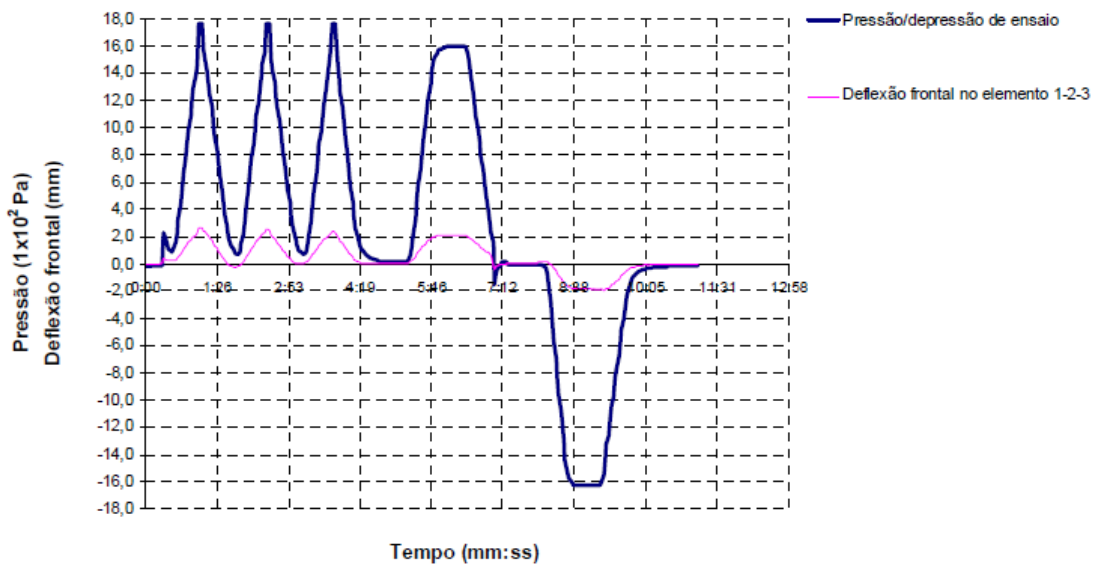


Fig. 3.5 - Exemplo de um gráfico de um ensaio de deflexão frontal em função da carga de ensaio e do tempo [73]

O ensaio de pressão cíclica submete as janelas a 50 ciclos de pressão positiva e negativa de valor igual a metade do valor de P_1 , $P_2=0,5 \cdot P_1$. A primeira solicitação corresponde a pressão negativa e vão alternando depois entre pressão negativa e positiva. A variação entre P_2 e $-P_2$ deve durar no mínimo 7 ± 3 segundos.

No final dos 50 ciclos, testa-se a abertura dos elementos móveis da amostra de ensaio e registam-se os defeitos e volta-se a fazer mais um ensaio de permeabilidade ao ar.

O ensaio de segurança consiste em submeter a caixilharia a uma pressão positiva e negativa uma vez e meia superior a P_1 , $P_3=1,5 \cdot P_1$. Primeiro é aplicada a pressão negativa e a variação entre 0 e $-P_3$ e de $-P_3$ a 0 deve ser gradual e durar 7 ± 3 segundos. O valor da pressão máximo P_3 ou $-P_3$ deve manter-se por 7 ± 3 segundos. As variações de 0 a P_3 deve ter as mesmas características que de 0 a $-P_3$.

Acabado o ensaio de segurança regista-se se a amostra permanece encerrada e registam-se as principais modificações ocorridas, como por exemplo o desprendimento de peças.

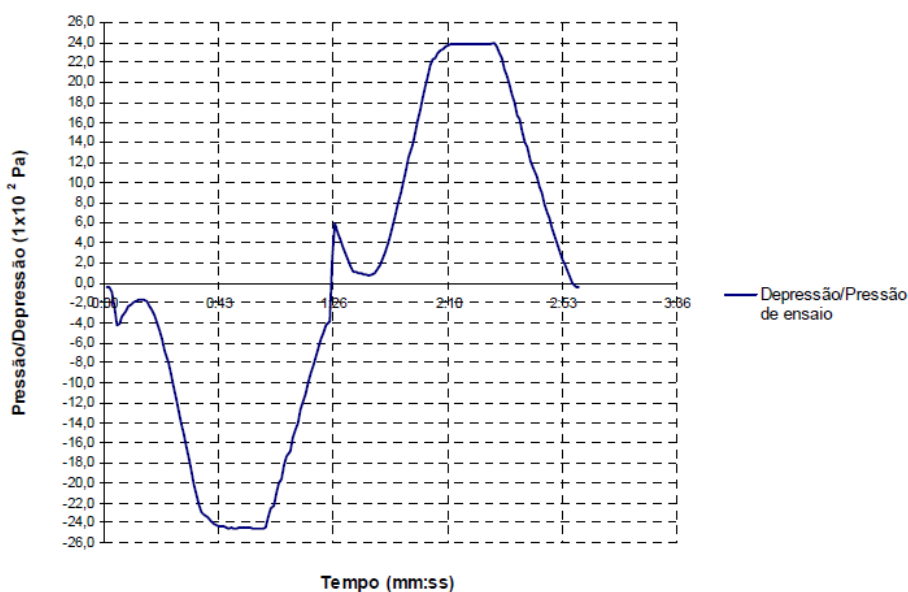


Fig. 3.6 - Exemplo de registo de carga de ensaio em depressão/pressão em função do tempo num ensaio de segurança [73]

A norma EN 12210 [15] classifica a resistência o vento de janelas e portas. Tal como foi referido anteriormente, P2 é igual a metade do valor de P1 e P3 corresponde a uma vez e meia o valor de P1.

A tabela seguinte define as pressões a aplicar na metodologia descrita anterior P1, P2 e P3 de acordo com a classe pretendida.

Quadro 3.4 - Classificação em relação à acção do vento [15]

Classe	P1	P2 ^{a)}	P3
0	Não ensaiada		
1	400	200	600
2	800	400	1200
3	1200	600	1800
4	1600	800	2400
5	2000	1000	3000
Exxxx ^{b)}	xxxx		

a) Esta pressão deve-se repetir 50 vezes.

b) Para amostras de ensaio com classificação superior à classe 5 classifica-se com Exxxx, onde xxxx é a pressão de ensaio P1

A classificação da flecha relativa frontal determinada com a pressão P1 aparece também definida no quadro seguinte.

Quadro 3.5 - Classificação em relação à flecha relativa frontal [15]

Classe	Flecha relativa frontal
A	<1/150
B	<1/300
C	<1/300

A classificação da resistência ao vento da amostra aparece definida no quadro 3.7. Este traduz uma classificação global com base nas classificações definidas anteriormente, classificação em relação a acção do vento e classificação em relação à flecha relativa frontal.

Quadro 3.6 - Classificação da resistência à acção do vento [15]

Classe em relação à acção do vento	Flecha relativa frontal		
	A	B	C
1	A1	B1	C1
2	A2	B2	C2
3	A3	B3	C3
4	A4	B4	C4
5	A5	B5	C5
Exxx	AExxxx	BExxxx	CExxxx

NOTA: Na classificação da resistência à acção do vento, o número diz respeito à classificação em relação à acção do vento, quadro 3.4, e a letra diz respeito à classificação com base na flecha relativa frontal, quadro 3.5.

4

DIMENSIONAMENTO

4.1. DEFINIÇÃO DA ACÇÃO DO VENTO [13]

O processo de dimensionamento de caixilharias tem como acção base o vento, a acção mais desfavorável que pode actuar numa janela. Este subcapítulo tem como objectivo mostrar o processo de dimensionamento da acção do vento em edifícios à luz da normalização europeia em vigor, ou seja, a partir do Eurocódigo 1- Parte: 1- 4 ou EN 1991-1-4 [13].

Este documento caracteriza a tipologia e aplicação de esforços a estruturas e é na parte 4 que é definida a acção do vento em edifícios assentes no solo e seus componentes até 200 metros de altura e para pontes onde o vão não exceda os 200 metros. A quantificação da acção do vento tem como base a velocidade do vento que é calculada a partir de valores anuais que podem ser excedidos em 2%, correspondentes a um período de retorno de 50 anos. Neste caso todo o processo de dimensionamento aqui descrito remete para a quantificação da acção do vento em elementos verticais, paredes, e coberturas inclinadas e planas.

A norma especifica dois processos de cálculo para a acção do vento, embora apenas um diga respeito a edifícios. A pressão do vento em edifícios é obtida com base em coeficientes de pressão que podem variar de acordo com o sítio onde queremos calcular a acção do vento.

4.1.1. CÁLCULO DA ACÇÃO DO VENTO

4.1.1.1. Velocidade base do vento

A velocidade base do vento, V_b , depende de parâmetros como o clima, a altura do edifício e a rugosidade do terreno e corresponde ao produto entre três grandezas, a velocidade fundamental do vento, o factor direccional e o factor relativo à época do ano.

O valor fundamental da velocidade base do vento, $V_{b,0}$, corresponde à velocidade média do vento durante 10 minutos, independentemente da direcção e da altura do ano, 10 metros acima do nível do solo, em terreno com vegetação rasteira e obstáculos isolados separados no mínimo por uma distância equivalente a 20 vezes a altura destes (categoria II). O anexo nacional da referida norma divide o país em duas zonas, A e B. A zona A diz respeito à maior parte do território nacional excepto os arquipélagos da Madeira e Açores e as regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5 km de largura ou altitudes superiores a 600 m, zona B. O factor $v_{b,0}$ é igual a 27 m/s e 30 m/s para a zona A e B, respectivamente.

Os valores recomendados para o coeficiente de direcção, C_{dir} , e para o coeficiente de sazão, C_{season} , tomam o valor recomendado de 1,0. O primeiro factor pode ser considerado igual a 0,85 para situações em que a velocidade seja inferior à máxima no local e que esteja associada a uma direcção particular

do vento. O coeficiente relativo à época do ano pode tomar o valor 0,9 se a obra a realizar estiver situada no período de Maio a Agosto.

A velocidade base do vento deve ser calculada segundo a seguinte expressão

$$V_b = C_{dir} \times C_{season} \times V_{b,0} \quad (4.1)$$

Caso a velocidade média do vento durante um período de 10 minutos seja calculada com outra probabilidade de ser excedida diferente de 2%, é necessário multiplicar o valor fundamental da velocidade do vento pelo factor de probabilidade, C_{prob} , que se define de acordo com a seguinte expressão

$$C_{prob} = \left(\frac{1 - K \times \ln(-\ln(1-p))}{1 - K \times \ln(-\ln(0,98))} \right)^n \quad (4.2)$$

Onde o parâmetro de forma, K , toma o valor 0,11 e n o valor 1,0.

4.1.1.2. Velocidade média do vento

A velocidade média do vento $V_m(z)$ a uma altura z acima do solo depende da rugosidade do terreno, da sua orografia e do valor base da velocidade do vento, V_b , definido anteriormente. A sua determinação deve ser feita de acordo com a seguinte expressão

$$V_m(z) = C_r(z) \times C_0(z) \times V_b \quad (4.3)$$

O factor de rugosidade, $C_r(z)$, influencia a velocidade média do vento no local do edifício devido à altura deste ao solo e à rugosidade do terreno na direcção tomada pelo vento.

O processo recomendado para a determinação da rugosidade em função da altura é dado pelas seguintes expressões

$$C_r(z) = K_r \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ para } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.4)$$

$$C_r(z) = C_r(z_{\min}) \text{ para } z \leq z_{\min} \quad (4.5)$$

O factor do terreno, K_r , fica definido pela seguinte expressão em função do comprimento de rugosidade e do comprimento de rugosidade para um terreno de categoria II, $z_{0,II}$, correspondente a 0,05 m.

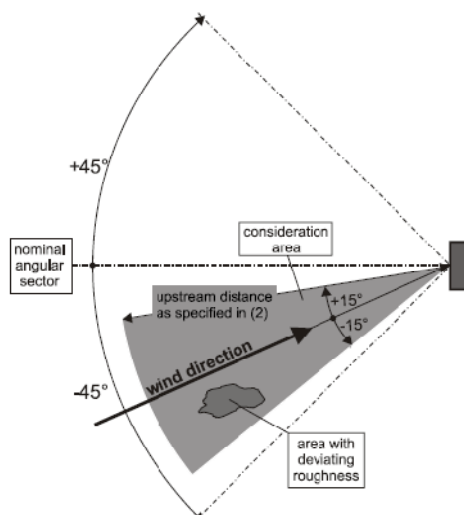
$$K_r = 0,19 \times \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (4.6)$$

O comprimento de rugosidade, Z_0 , e a altura mínima, $Z_{\min}$, aparecem definidos no quadro 4.1 em função da categoria do terreno. O valor de $Z_{\max}$ encontra-se previamente definido e é igual a 200 m.

Quadro 4.1 – Categorias do terreno e respectivos parâmetros [13]

Categoria do terreno		Z_0 (m)	Z_{min} (m)
I	Zona costeira exposta aos ventos de mar	0,005	1
II	Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura	0,05	3
II	Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: zonas suburbanas, florestas permanentes)	0,3	8
IV	Zona na qual pelo menos 15% da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m.	1,0	15

A categoria do terreno a considerar numa dada direcção do vento depende de dois factores: da rugosidade do solo e da distância de solo com rugosidade constante dentro de um intervalo angular, de acordo com a figura 4.1. O sector angular deve ser de 30° , $\pm 15^\circ$ na direcção do vento. O Anexo Nacional diz ainda que se o edifício está situado na proximidade de uma alteração de rugosidade do terreno a uma distância inferior a 2 km, com transição de uma zona com categoria I, ou inferior a 1 km, com transição de um terreno menos rugoso de categoria II ou III, deverá ser utilizada a categoria mais baixa existente na direcção do vento. Áreas inferiores ou iguais a 10% da área considerada que tenham rugosidade diferente não devem ser consideradas.

**Legenda:**

“Nominal angular sector”	sector angular nominal
“Consideration área”	área considerada
“Upstream distance as defined in (2)”	extensão para barlavento conforme especificado em (2)
“Wind direction”	direcção do vento
“Area with deviating roughness”	área com rugosidade diferente

Fig. 4.1 – Avaliação da rugosidade do terreno [13]

O valor do factor orográfico, $c_0(z)$, deve ser tido em conta quando a orografia do terreno aumenta a velocidade do vento em 5% em relação ao valor inicial. O procedimento recomendado aparece definido no Anexo B da norma EN 1991-1-4 [13]. Os efeitos da orografia devem ser descartados

quando a inclinação dos taludes foi inferior a 3°, com um declive igual ao declive médio da encosta, até a uma distância igual a 10 vezes a altura máxima do talude. Quando este já se encontra incorporado no cálculo da velocidade base do vento, este toma o valor de 1,0 na expressão da velocidade média.

4.1.1.3. Turbulência do vento

A intensidade de turbulência, $I_v(z)$, é obtida através do quociente entre o desvio padrão da turbulência e a velocidade média do vento, em função da altura.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} = \frac{k_t}{c_o(z) \times \ln(z/z_0)} \quad \text{para } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.7)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad \text{para } z < z_{\min} \quad (4.8)$$

O coeficiente de turbulência, K_t , toma valor 1,0.

O coeficiente orográfico e o comprimento de rugosidade já se encontram definidos previamente.

4.1.1.4. Pressão dinâmica de pico

A pressão para a velocidade máxima, $q_p(z)$, traduz as flutuações a médio e curto prazo da velocidade. Deve ser calculado da seguinte forma

$$q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z) = c_e(z) \times q_b \quad (4.9)$$

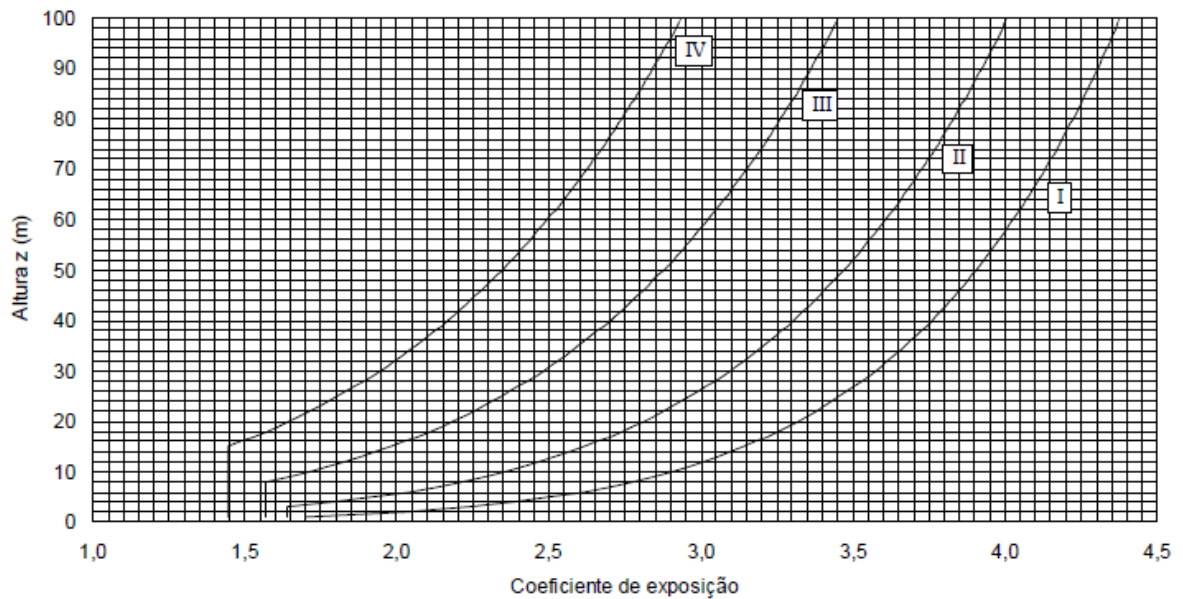
A densidade do ar, ρ , é igual 1,25 kg/m³. A pressão dinâmica de referência, q_b , é definida em função da velocidade base do vento

$$q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2 \quad (4.10)$$

O coeficiente de exposição, $c_e(z)$, é definido com base na expressão

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad (4.11)$$

Para terrenos planos em que o coeficiente orográfico, $c_o(z)$, é igual a 1,0, o valor de $c_e(z)$ é retirado da seguinte figura. A figura relaciona a altura ao solo do edifício com o factor de exposição, de acordo com a respectiva categoria do terreno.

Fig. 4.2 - Coeficiente de exposição para terrenos com $c_o(z)$ e $K_t=1,0$ [13]

4.1.1.5. Coeficiente estrutural

O coeficiente estrutural, $c_s c_d$, reflecte o efeito da acção do vento relativamente a pressões de pico com ocorrência não simultânea (c_s) juntamente com o efeito das vibrações na estrutura devido à turbulência, componente dinâmica (c_d).

A norma define as situações onde este coeficiente é igual a 1,0. Há a destacar os seguintes casos:

- edifícios com altura inferior a 15 m.
- fachadas e elementos de cobertura com frequência natural superior a 5 Hz.
- edifícios com paredes estruturais que tenham menos de 100 m de altura e cuja altura seja menor que 4 vezes a dimensão do edifício na direcção do vento.

Para os restantes casos, o factor estrutural deve ser calculado com base na seguinte expressão

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \times k_p \times I_v(z_s) \times \sqrt{B^2 \times R^2}}{1 + 7 \times I_v(z_s)} \quad (4.12)$$

Esta expressão apenas deverá ser usada se a estrutura corresponder a uma das configurações apresentadas na figura seguinte e quando apenas há vibrações no modo fundamental e estas são constantes.

O valor de z_s fica definido de acordo com a seguinte figura abaixo. Se não houver uma expressão adequada à situação, z_s deverá tomar o valor da altura do edifício.

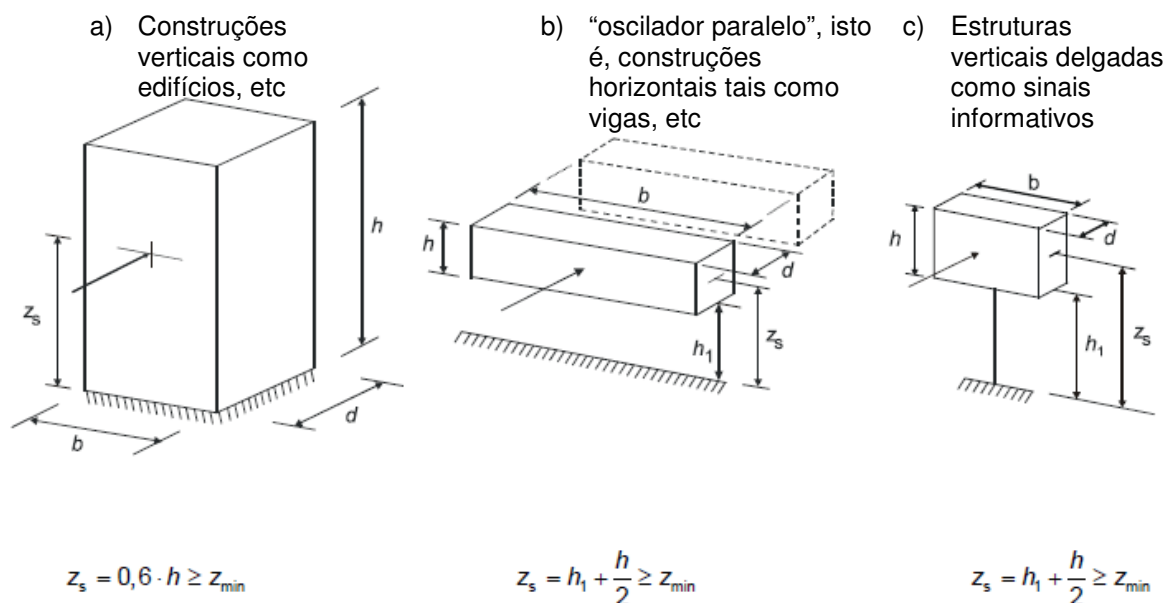


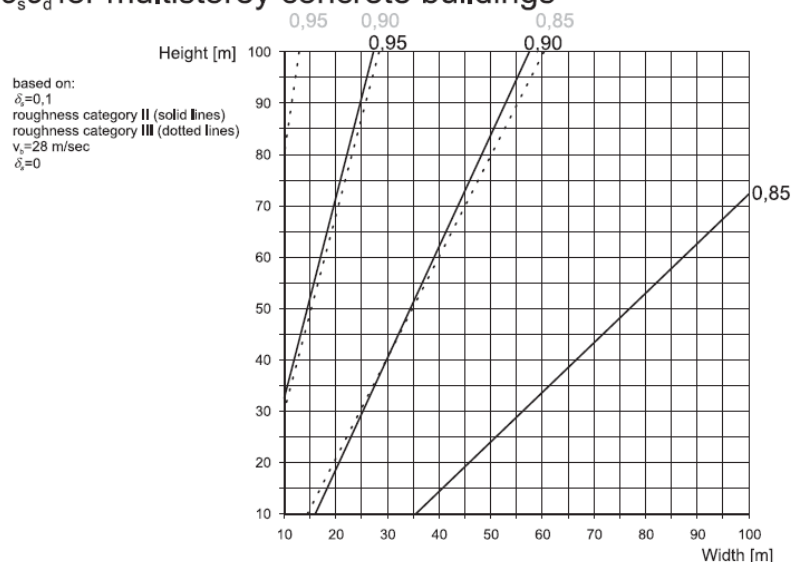
Fig. 4.3 – Formas gerais das construções abrangidas pelo método de cálculo [13]

O valor de $z_{\min}$ está definido no quadro 4.1.

O factor de pico, k_p , o factor de suporte, B^2 , e o factor de ressonância, R^2 devem ser calculados de acordo com o Anexo B ou C da norma. Considerar B^2 igual a 1,0 é estar pelo lado da segurança. Ambos os anexos propõem métodos de cálculo para estes factores. A norma indica que os resultados dos dois métodos não devem diferir mais de 5%.

O anexo D da norma fornece valores para o coeficiente estrutural para edifícios em betão armado com paredes exteriores verticais, secção rectangular e com distribuição regular de rigidez e massa.

$c_s c_d$ for multistorey concrete buildings


 Fig.4 4 – Coeficiente estrutural, $c_s c_d$ para edifícios de estrutura de aço com vários pisos, de planta regular, e com paredes exteriores verticais, com uma distribuição regular de rigidez e de massa [13]

4.1.1.6. Coeficiente de pressão exterior

O coeficiente de pressão exterior está directamente ligado à área onde o vento actua. Esta área corresponde à área da estrutura que retrata a acção do vento na secção que se quer calcular. Os valores do coeficiente de pressão são dados para áreas de 1 m^2 , $c_{pe,1}$, e 10 m^2 , $c_{pe,10}$, dependendo da configuração do edifício. Para edifícios o coeficiente de pressão mais adequado é o $c_{pe,10}$.

Uma vez que existe uma elevada diversidade de valores para este parâmetro em função das propriedades geométricas do edifício, apenas se caracterizarão os casos mais desfavoráveis. Os restantes valores encontram-se devidamente tabelados em anexo. O quadro 4.2 identifica os principais coeficientes de pressão exterior para os diversos tipos de elemento onde as caixilharias podem estar inseridas (coberturas planas, coberturas inclinadas com uma água, coberturas inclinadas de duas águas e coberturas inclinadas de quatro águas). Os restantes coeficientes de pressão encontram-se no Anexo A.

Quadro 4.2 - Coeficientes de pressão exterior mais desfavoráveis

		Coeficiente de pressão, $c_{pe,10}$
Paredes verticais de edifícios rectangulares planos		$C_{pe,10} = -1,2$ (zona A)
Coberturas planas	Com extremidades afiadas	$C_{pe,10} = -1,8$ (zona F)
	Com platibanda ($h_p/h=0,25$)	$C_{pe,10} = -1,6$ (zona F)
	Beirais curvos ($r/h=0,05$)	$C_{pe,10} = -1,2$ (zona G)
	Beirais com mansardas ($\alpha=45^\circ$ ou 60°)	$C_{pe,10} = -1,3$ (zona G)
Coberturas inclinadas com uma água		$C_{pe,10} = -1,7$ (zona F) ($\theta=0^\circ$) ($\alpha=5^\circ$)
	Acção do vento na direcção do plano inclinado	$C_{pe,10} = -2,5$ (zona F) ($\theta=180^\circ$) ($\alpha=45^\circ$)
	Acção do vento ortogonalmente à direcção do plano inclinado	$C_{pe,10} = -2,4$ (zona F _{up}) ($\theta=90^\circ$) ($\alpha=15^\circ$)
Coberturas inclinadas de duas águas	Acção do vento na direcção dos planos inclinados ($\theta=0^\circ$)	$C_{pe,10} = -2,5$ (zona F) ($\alpha=15^\circ$)
Coberturas inclinadas com quatro águas ($\theta=0^\circ$ ou 90°)		$C_{pe,10} = -1,4$ (zona L) ($\alpha = -15^\circ$ ou 30°)

4.1.1.7. Coeficiente de pressão interior

O coeficiente de pressão interior, c_{pi} , é função do tamanho e da disposição das aberturas nas fachadas e é aplicado quando em dois elementos da envolvente do edifício (fachadas e coberturas), a área de aberturas em cada elemento não ultrapassa 30% da sua área. Caso isso aconteça, deverão ser tomadas outras disposições para o cálculo da acção do vento.

Nos casos de edifícios com uma fachada dominante, a pressão interior deve ser considerada como uma fracção da pressão exterior. Fachada dominante corresponde à fachada onde a área das aberturas é no mínimo igual ao dobro das aberturas existentes nas restantes fachadas. O quadro 4.3 define o coeficiente de pressão interior para situações em que existe fachada dominante através de uma relação entre a área de aberturas da fachada dominante e a área de aberturas das restantes fachadas.

Quadro 4.3 - Coeficiente de pressões interiores para edifícios com fachada dominante

Quociente entre a área de aberturas da fachada dominante e a área de aberturas das restantes fachadas	Coeficiente de pressão interior
=2	$c_{pi} = 0,75 \times c_{pe}$
≥ 3	$c_{pi} = 0,9 \times c_{pe}$
Valores intermédios	Utilizar interpolações

Se estivermos num edifício em que não há fachada dominante o valor do coeficiente de pressão interior deve ser retirado da figura 4.5, que consiste num ábaco que relaciona este coeficiente e o parâmetro μ . Este encontra-se definido com base na expressão

$$\mu = \frac{\sum \text{áreas onde } c_{pe} \text{ é negativo ou igual a } -0,0}{\sum \text{áreas de todas as aberturas}} \quad (4.13)$$

Para valores entre $h/d=0,25$ e $h/d=1,0$, deve-se recorrer a interpolações.

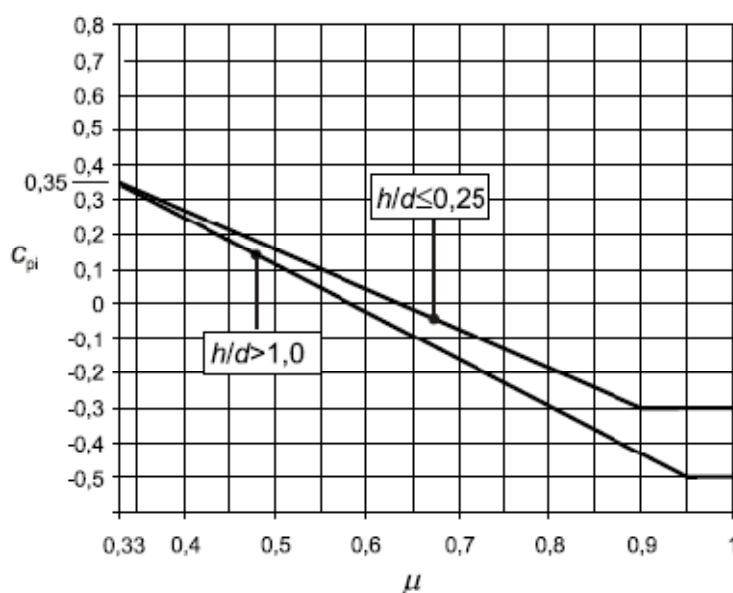


Fig. 4.5 - Coeficiente de pressão interior para edifícios sem fachada dominante [13]

4.1.1.8. Altura de referência exterior

A figura 4.5 define a altura de referência para a acção do vento em fachadas. Há três tipologias de edifícios a considerar:

- edifícios em que a altura h é menor que b deve ser considerado como um todo;
- edifícios em que a altura h é maior que b , mas menor que $2b$, devem ser consideradas duas partes: a parte inferior, que vai desde o chão até à altura b e uma segunda parte com o restante do edifício;
- edifícios em que a altura h é maior que $2b$, devem ser consideradas múltiplas partes, distribuídas da seguinte maneira: a primeira parte vai desde o chão até a altura b , uma segunda parte que vai desde a cobertura no sentido descendente até a uma altura de b , e uma terceira parte intermédia com a distância que sobrar dividida em tiras com a altura h_{strip} .

A altura de referência para coberturas planas e para coberturas com beirais curvos e mansardas, deve ser igual à altura do edifício (h).

No caso de coberturas com platibandas, esta deve ser igual à altura do edifício mais a altura da platibanda.

Para coberturas inclinadas com uma, duas e quatro águas é considerada igual à altura do edifício (h).

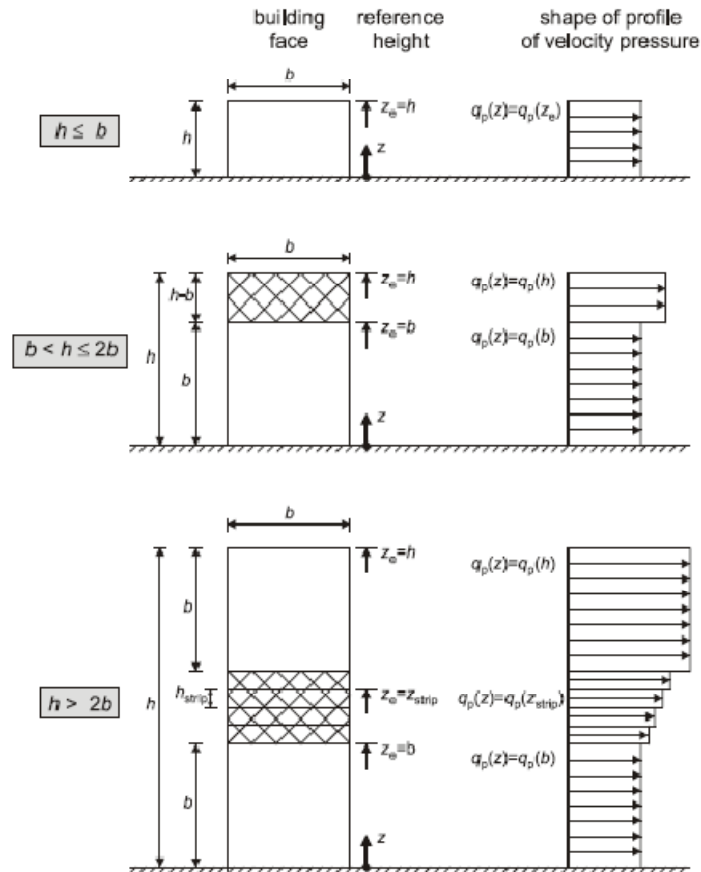


Fig. 4.6 - Alturas de referência para a pressão exterior em edifícios regulares planos [13]

4.1.1.9. Altura de referência interior

A altura de referência para a pressão interior (z_i) é igual à altura de referência para a pressão exterior (z_e) nas fachadas que contribuem para a existência de pressão interior. Caso existam vários valores para a altura de referência para a pressão exterior, z_i deve corresponder ao valor mais alto do parâmetro anterior.

4.1.1.10. Pressão e força do vento

A pressão do vento em superfícies exteriores, W_e , é obtida pelo produto entre a pressão para a velocidade máxima do vento para uma determinada altura de referência, z_e , e o coeficiente de pressão exterior, c_{pe}

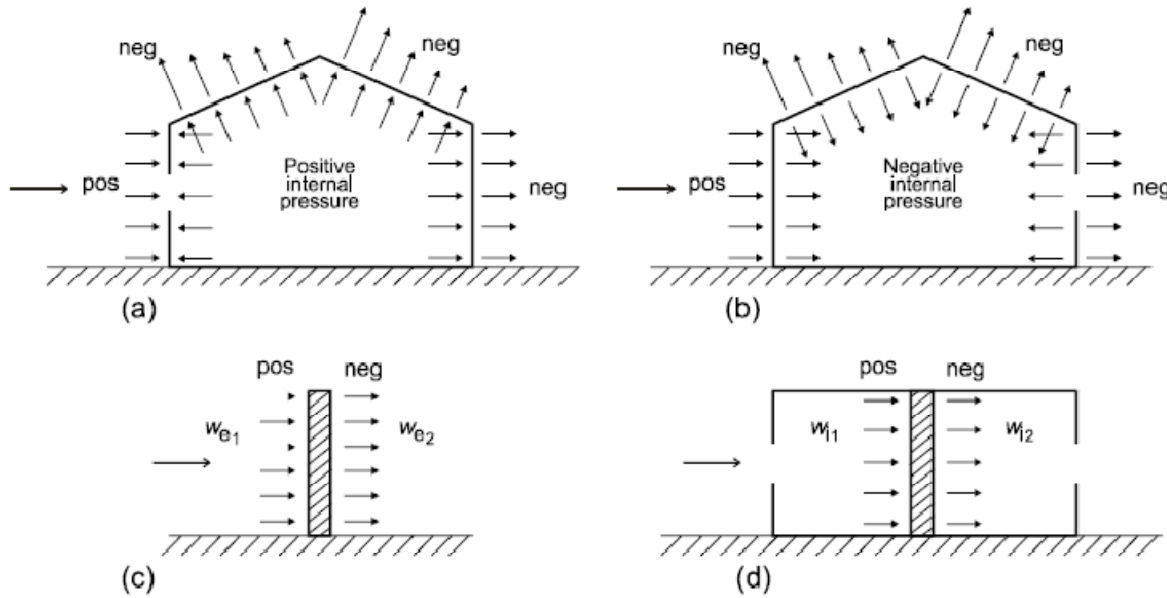
$$W_e = q_p(z_e) \times c_{pe} \quad (4.14)$$

Tanto a pressão para a velocidade máxima, $q_p(z_e)$, como o coeficiente de pressão exterior estão definidos anteriormente.

A pressão interior é calculada de forma análoga à anterior.

$$W_i = q_p(z_i) \times c_{pi} \quad (4.15)$$

A pressão num dado elemento, corresponde à diferença entre pressões actuantes em faces opostas. As pressões são positivas e as depressões são consideradas negativas. Para os edifícios a localização da abertura na fachada implica mudanças na distribuição de pressões no interior e exterior do edifício.



Legenda:

"Positive internal pressure"	pressão interior positiva
"Negative internal pressure"	pressão interior negativa"

Fig. 4.7 – Pressão exercida em superfícies [13]

A força do vento incidente na fachada, F_w , corresponde ao somatório entre a componente exterior, $F_{w,e}$, a componente interior, $F_{w,i}$ e as forças de fricção F_{fr} .

Para elementos como paredes e coberturas, a força do vento final apenas tem em conta a força interior e exterior do vento, não contabilizando as forças de fricção.

Assim resulta apenas a resultante entre as forças interiores e exteriores da pressão do vento.

$$F_{w,e} = c_s c_d \times \sum W_e \times A_{ref} \quad (4.16)$$

$$F_{w,i} = \sum W_i \times A_{ref} \quad (4.17)$$

$$F_w = F_{w,e} + F_{w,i} \quad (4.18)$$

Onde c_{sd} é o coeficiente estrutural definido em 4.1.1.5., W_e é a pressão exterior na fachada para a altura z_e , W_i é a pressão interior da fachada para a altura z_i e a A_{ref} é a área de referência da estrutura ou elemento estrutural.

4.2. TIPIFICAÇÃO ESTRUTURAL DAS CAIXILHARIAS

A tipificação estrutural de caixilharias é uma tarefa difícil, na medida em que cada caso tem características específicas. Há vários factores que influenciam a tipificação estrutural das janelas e que lhe conferem singularidade e diversidade. A tipificação estrutural de janelas é importante para perceber o comportamento estrutural destas e conseguir identificar os elementos mais desfavoráveis, de modo a proceder ao seu dimensionamento.

Uma janela ao ser dimensionada tem como acção principal o vento, definido em função da altura do edifício, logo para cada altura uma pressão diferente, o que influencia o comportamento da janela de modo a garantir a segurança dos ocupantes. Além disto, o facto de a janela estar sujeita a pressões positivas ou negativas também implica mudanças no esquema estrutural das caixilharias.

Outro factor a ter em conta são as dimensões e geometria do vão, sendo este o factor que mais particulariza a caixilharia. Dimensões diferentes resultam em esforços diferentes nos perfis e consequentemente implica alterações nos elementos resistentes das janelas.

Além destes dois factores, existe ainda outro que também influencia a tipificação estrutural das caixilharias, a sua tipologia, ou seja, forma de abertura. Esta deve ser a questão fundamental para definir o esquema estrutural da janela, uma vez que diferentes tipos de janelas implicam diferentes acessórios de fixação e, consequentemente, diferentes maneiras de transmitir as acções.

A articulação entre estes factores resulta em variações da disposição e do número de acessórios que existem no vão, elementos estes de carácter estrutural e com influência no comportamento das janelas. Dos acessórios mais comuns destacam-se as dobradiças e os pontos de fecho ao vão e entre as folhas da janela, por conduzirem os esforços ao vão e por conferirem maior rigidez à janela.

Na perspectiva de simplificar o processo de tipificação, segue-se uma análise dos tipos de caixilharia mais comuns para os diferentes tipos de pressão, pressão positiva e pressão negativa, e em relação às características mais importantes na óptica das caixilharias, sendo sugeridas também algumas observações relativamente aos acessórios e funcionamento da janela. A figura 4.7 define os tipos de janelas analisados e o quadro 4.4 caracteriza-as de acordo com o descrito atrás.

Uma vez que as janelas basculantes e projectantes funcionam da mesma maneira e que se encontram apoiadas da mesma forma diferindo apenas no sentido da abertura, a avaliação feita para as basculantes serve para as janelas projectantes.

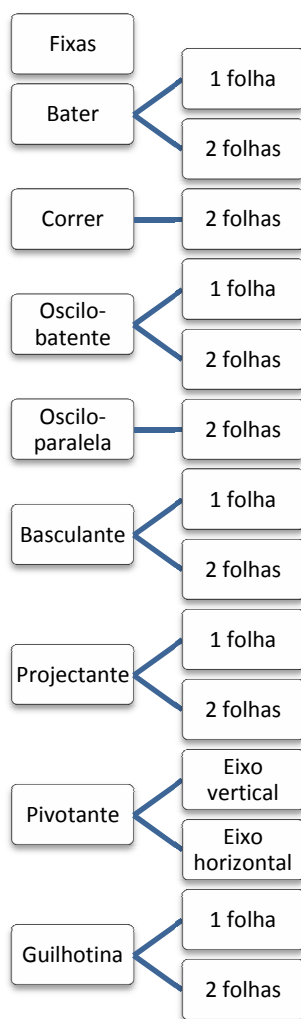
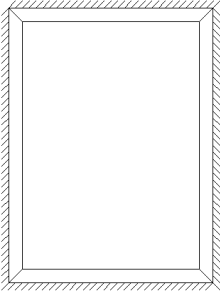
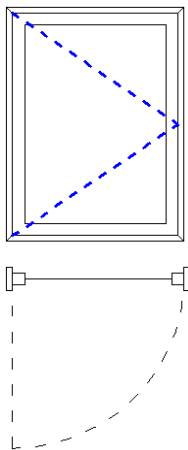
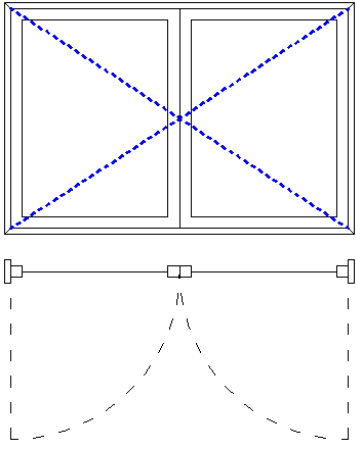


Fig. 4.8 - Tipos de caixilharias sujeitos a análise

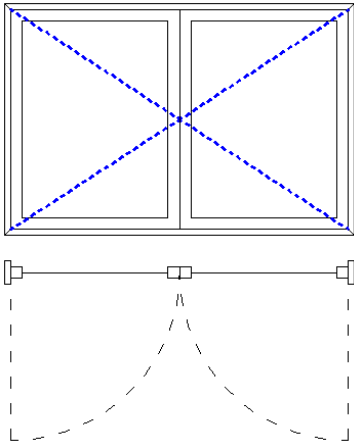
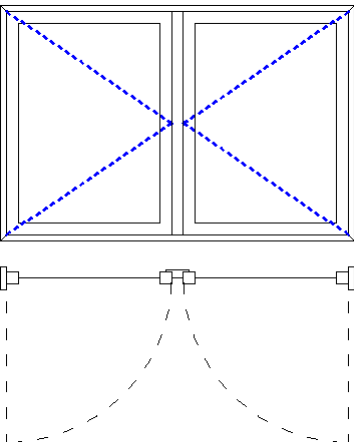
Quadro 4.4 - Análise qualitativa do desempenho das caixilharias, na perspectiva das propriedades mais simples

Nº	Tipo de caixilharia	Pressão Positiva	Pressão Negativa	Observações	Risco
1	Janela fixa 	Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Baixo	Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Baixo	O caixilho assenta totalmente no vão. Ligação ao vão de elevada rigidez.	BAIXO

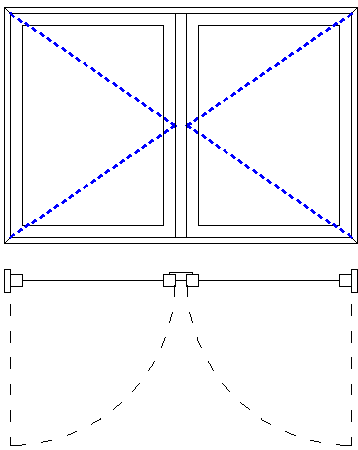
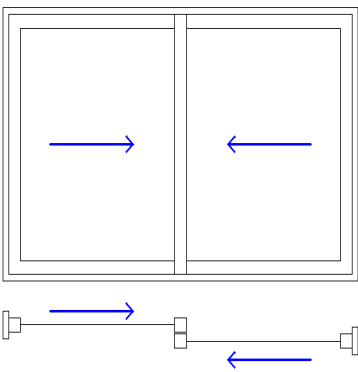
Quadro 4.4 - Análise qualitativa do desempenho das caixilharias, na perspectiva das propriedades mais simples (continuação)

Nº	Tipo de caixilharia	Pressão Positiva	Pressão Negativa	Observações	Risco
2	Janela de bater com uma folha 	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Moderado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Moderado/Baixo	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Baixo	Dobradiças e pontos de fecho são importantes para o funcionamento estrutural da caixilharia. Não há elementos com deformações excessivas	MODERADO
		Abertura para o exterior Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Baixo	Abertura para o exterior Permeabilidade ao ar: Moderado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Moderado/Baixo		
3	Janela de bater de duas folhas móveis 	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Elevado Estanquidade à água: Moderado/Elevado Deformação excessiva: Moderado	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Baixo	Dobradiças e pontos de fecho influenciam o comportamento estrutural. A ligação entre as duas folhas móveis é de elevada importância. Os elementos centrais são os mais desfavoráveis.	ELEVADO

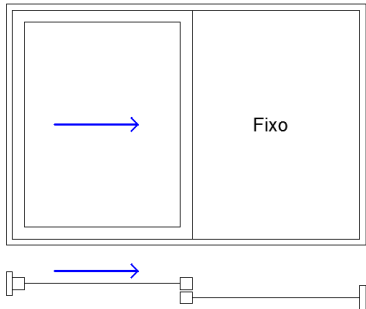
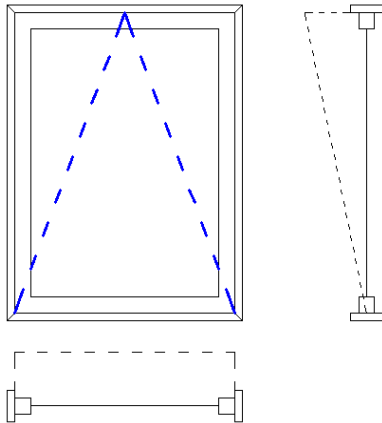
Quadro 4.4 - Análise qualitativa do desempenho das caixilharias, na perspectiva das propriedades mais simples (continuação)

Nº	Tipo de caixilharia	Pressão Positiva	Pressão Negativa	Observações	Risco
3	Janela de bater de duas folhas móveis 	Abertura para o exterior Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Baixo	Abertura para o exterior Permeabilidade ao ar: Elevado Estanquidade à água: Moderado/Elevado Deformação excessiva: Moderado	Dobradiças e pontos de fecho influenciam o comportamento estrutural. A ligação entre as duas folhas móveis é de elevada importância. Os elementos centrais são os mais desfavoráveis	ELEVADO
4	Janela de bater de duas folhas móveis, com perfil fixo central 	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Moderado/Elevado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Moderado	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Moderado	Os elementos centrais são os mais desfavoráveis. Elemento central pode constituir o único elemento estrutural da janela. Dobradiças e pontos de fecho influenciam o comportamento estrutural.	MODERADO

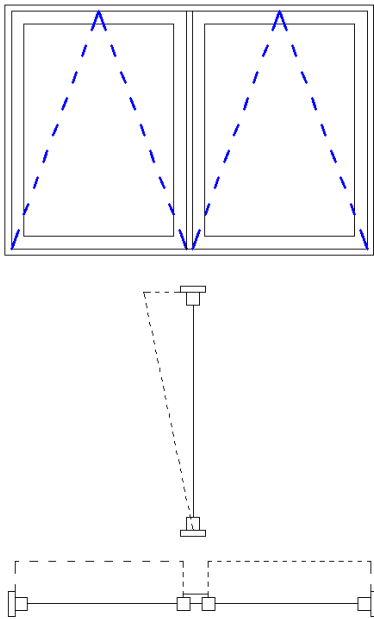
Quadro 4.4 - Análise qualitativa do desempenho das caixilharias, na perspectiva das propriedades mais simples (continuação)

Nº	Tipo de caixilharia	Pressão positiva	Pressão negativa	Observações	Risco
4	Janela de bater de duas folhas móveis, com perfil fixo central 	Abertura para o exterior Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Baixo	Abertura para o exterior Permeabilidade e ao ar: Moderado/Elevado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Moderado	Os elementos centrais são os mais desfavoráveis. Elemento central pode constituir o único elemento estrutural da janela. Dobradiças e pontos de fecho influenciam o comportamento estrutural.	M O D E R A D O
5	Janela de correr de duas folhas móveis 	Permeabilidade ao ar: Elevado Estanquidade à água: Moderado/Elevado Deformação excessiva: Moderado	Permeabilidade e ao ar: Elevado Estanquidade à água: Moderado/Elevado Deformação excessiva: Moderado	Os elementos mais desfavoráveis são os elementos centrais. Possível união entre perfis centrais quando sujeito a pressões intensas. Folgas entre perfis móveis originam problemas de permeabilidade ao ar e estanquidade à água.	E L E V A D O

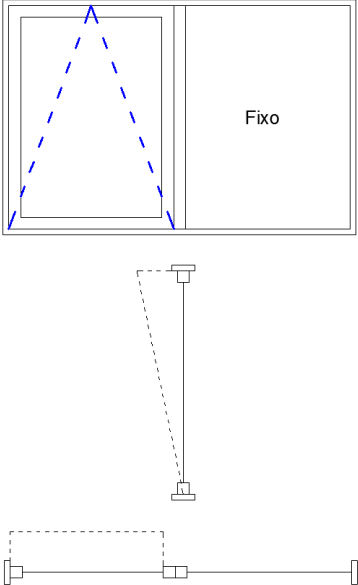
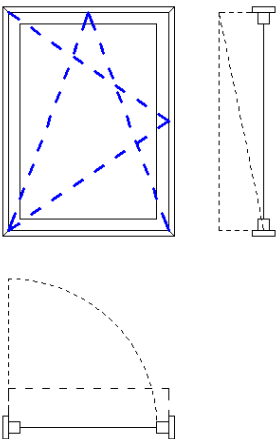
Quadro 4.4 - Análise qualitativa do desempenho das caixilharias, na perspectiva das propriedades mais simples (continuação)

Nº	Tipo de caixilharia	Pressão positiva	Pressão negativa	Observações	Risco
6	Janela de correr com uma folha móvel 	Permeabilidade ao ar: Elevado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Baixo/Moderado	Permeabilidade ao ar: Elevado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Baixo/Moderado	A parte fixa é mais rígida que a móvel. Para pressões negativas pode haver contacto entre os elementos centrais das duas folhas.	MODERADO
7	Janela basculante 	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Moderado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Moderado	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Baixo	Acessórios e sistema de fecho com importância estrutural. Não há elementos com deformações excessivas.	
		Abertura para o exterior Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Baixo	Abertura para o exterior Permeabilidade ao ar: Moderado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Moderado		

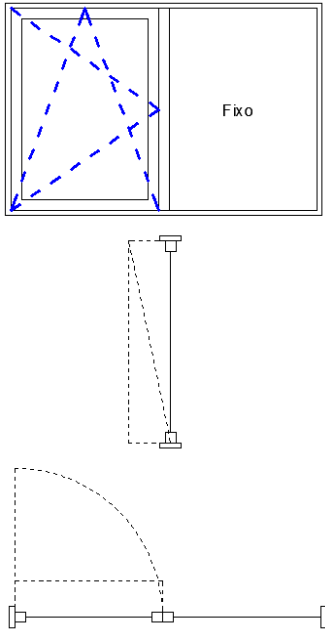
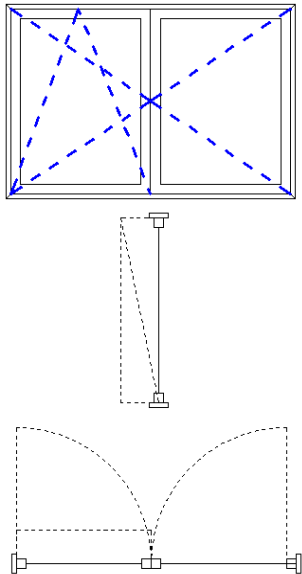
Quadro 4.4 - Análise qualitativa do desempenho das caixilharias, na perspectiva das propriedades mais simples (continuação)

Nº	Tipo de caixilharia	Pressão positiva	Pressão negativa	Observações	Risco
8	Janela basculante de duas folhas móveis, com perfil central fixo 	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Moderado/Elevado Estanquidade à água: Moderado/Elevado Deformação excessiva: Baixo/Moderado	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Baixo	Os elementos centrais são os mais desfavoráveis. Elemento central pode suportar as duas folhas. Dobradiças e pontos de fecho influenciam o comportamento estrutural.	E L E V A D O
		Abertura para o exterior Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Baixo	Abertura para o exterior Permeabilidade ao ar: Moderado/Elevado Estanquidade à água: Moderado/Elevado Deformação excessiva: Baixo/Moderado		

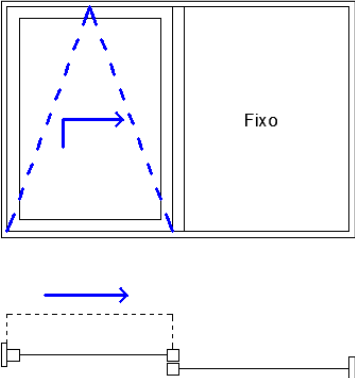
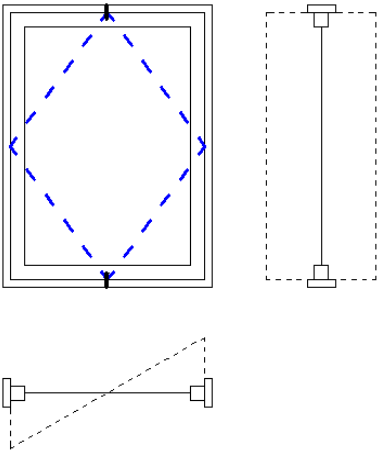
Quadro 4.4 - Análise qualitativa do desempenho das caixilharias, na perspectiva das propriedades mais simples (continuação)

Nº	Tipo de caixilharia	Pressão positiva	Pressão negativa	Observações	Risco
9	Janela basculante de duas folhas, uma móvel e outra fixa 	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Elevado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Baixo/Moderado	Abertura para o exterior Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Baixo	Os acessórios e sistemas de fecho são importantes para o comportamento estrutural do caixilho. A parte fixa confere alguma rigidez ao caixilho.	MODERADO
		Abertura para o exterior Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Baixo	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Elevado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Baixo/Moderado		
10	Janela oscilo-batente de uma folha 	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Elevado/Moderado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Baixo	Abertura para o exterior Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Baixo	Os acessórios e sistemas de fecho são importantes para o comportamento estrutural do caixilho. Não há elementos com deformações excessivas.	MODERADO

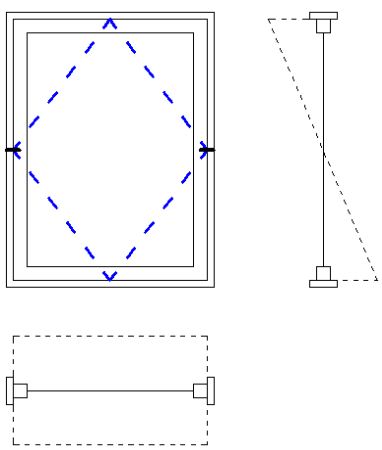
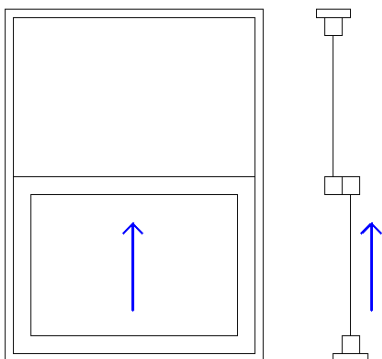
Quadro 4.4 - Análise qualitativa do desempenho das caixilharias, na perspectiva das propriedades mais simples (continuação)

Nº	Tipo de caixilharia	Pressão positiva	Pressão negativa	Observações	Risco
11	Janela oscilo-batente de duas folhas, uma móvel e uma fixa 	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Elevado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Baixo/Moderado	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Baixo	Os acessórios e sistemas de fecho são importantes para o comportamento estrutural do caixilho. O elemento central é aquele que tem maior deformação.	M O D E R A D O
12	Janela oscilo-batente de duas folhas móveis (oscilo-batente e bater) 	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Elevado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Moderado	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Baixo	Ligação entre perfis é importante para garantir o funcionamento correcto. Os acessórios e sistemas de fecho são importantes para o comportamento estrutural do caixilho.	E L E V A D O

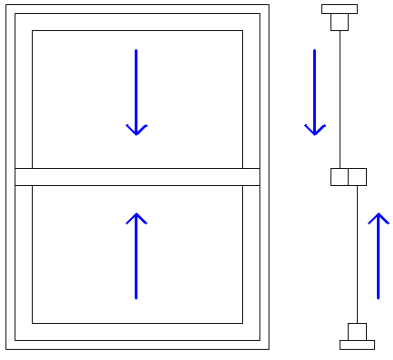
Quadro 4.4 - Análise qualitativa do desempenho das caixilharias, na perspectiva das propriedades mais simples (continuação)

Nº	Tipo de caixilharia	Pressão positiva	Pressão negativa	Observações	Risco
13	Janela oscilo-paralela de duas folhas, uma móvel e uma fixa 	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Elevado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Baixo/Moderado	Abertura para o interior Permeabilidade ao ar: Baixo Estanquidade à água: Baixo Deformação excessiva: Baixo	Os acessórios e sistemas de fecho são importantes para o comportamento estrutural do caixilho. Os elementos centrais são aqueles que têm deformações maiores.	M O D E R A D O
14	Janela pivotante de eixo vertical 	Permeabilidade ao ar: Moderado/Elevado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Baixo	Permeabilidade ao ar: Moderado/Elevado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Baixo	Eixos de rotação e sistemas de fecho são importantes a nível estrutural.	M O D E R A D O

Quadro 4.4 - Análise qualitativa do desempenho das caixilharias, na perspectiva das propriedades mais simples (continuação)

Nº	Tipo de caixilharia	Pressão positivas	Pressão negativa	Observações	Risco
15	Janela pivotante de eixo horizontal 	Permeabilidade ao ar: Moderado/Elevado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Baixo	Permeabilidade ao ar: Moderado/Elevado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Baixo	Eixos de rotação e sistemas de fecho são importantes a nível estrutural.	M O D E R A D O
16	Janela tipo guilhotina com uma folha móvel 	Permeabilidade ao ar: Elevado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Baixo/Moderado	Permeabilidade ao ar: Elevado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Baixo/Moderado	Elemento central é o mais desfavorável. Comportamento semelhante ao de caixilharias de correr. Folha fixa confere maior rigidez ao sistema. Comportamento mais desfavorável para pressões negativas.	M O D E R A D O

Quadro 4.4 - Análise qualitativa do desempenho das caixilharias, na perspectiva das propriedades mais simples (continuação)

Nº	Tipo de caixilharia	Pressão positiva	Pressão negativa	Observações	Risco
17	Janela guilhotina com duas folhas móveis 	Permeabilidade ao ar: Elevado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Moderado	Permeabilidade ao ar: Elevado Estanquidade à água: Moderado Deformação excessiva: Moderado	Comportamento semelhante a caixilharias de correr de duas folhas móveis. Podem apresentar deformações excessivas no elemento central. Comportamento igual para pressões positivas e negativas.	ELEVADO

Com base no tipo de caixilharia e na escala atribuída na tabela, chegamos à conclusão que existem sete situações que são mais gravosas.

Quadro 4.5 – Casos mais desfavoráveis encontrados na classificação do quadro 4.4

Nº	Tipo de caixilharia
3	Janela de bater de duas folhas móveis
5	Janela de correr de duas folhas móveis
8	Janela basculante de duas folhas móveis, com perfil central fixo
12	Janela oscilo-batente de duas folhas móveis (oscilo-batente e bater)
17	Guilhotina de duas folhas móveis

As janelas de bater de duas folhas móveis sem elemento fixo central, aparecem como uma das mais desfavoráveis, visto que quando sujeitas a pressões, os elementos centrais deformam-se significativamente. Os pontos de fecho e os pontos de fixação que possam eventualmente existir nos perfis verticais centrais são importantes para garantir a estanquidade à água, permeabilidade ao ar e resistência à deformação. As janelas oscilo-batentes de duas folhas móveis sofrem dos mesmos problemas das janelas de bater de duas folhas móveis.

As janelas de correr de duas folhas têm grandes problemas de permeabilidade ao ar e estanquidade à água devido ao facto de o movimento das folhas se dar em planos paralelos, criando uma folga entre estas. Este facto aliado às deformações impostas pela acção do vento aumenta os problemas já referidos.

As janelas basculantes de duas folhas móveis com perfil central fixo apresentam também algumas deficiências em relação aos três principais problemas associados a janelas. Neste caso a principal razão passa pela maneira como é feita a ligação entre o perfil fixo central e as duas folhas móveis. O modo de fixação das janelas ao elemento fixo central é importante, assim como os pontos de fixação ao vão.

À semelhança do que acontece com as janelas de correr, as janelas tipo guilhotina apresentam as mesmas deficiências estruturais tanto a nível de permeabilidade ao ar como de estanquidade à água. De referir que nestas ainda é mais fácil a perda de estanquidade à água uma vez que a folga entre as folhas tem a direcção horizontal.

4.3. ESFORÇOS E VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE

4.3.1. DEFORMAÇÃO [74]

O estado limite de utilização é uma verificação de segurança com o objectivo de analisar as deformações nos perfis do ponto de vista da durabilidade esperada dos componentes.

O processo de verificação deste estado limite consiste em comparar a deformada máxima admissível com a deformada imposta pela acção do vento. A deformada máxima permitida para este estado limite fica definida de duas maneiras, utilizando a deformação absoluta e a deformação relativa, em função do tipo de janela/ envidraçado.

Quadro 4.6 - Deformação relativa e absoluta máximas admissíveis em função do tipo de envidraçado [74]

Deformação máxima admissível		
	Relativa	Absoluta
Portas e janelas exteriores com vidro simples	$(1/150)*L$	15 mm
Portas e janelas com vidros isolantes (duplos ou triplos)	$(1/200)*L$	11 mm
Fachadas leves	$(1/200)*L$	15 mm

A deformada máxima pode ser prevista de acordo com a teoria das vigas. Esta teoria para ser aplicada implica que a carga seja aplicada uniformemente, não é aplicável a zonas com cargas pontuais, e que haja pequenas deformações, na ordem de $(1/100)$ do vão.

Esta teoria para a análise da deformação no estado limite de serviço é adequada uma vez que a deformada máxima permitida é de $(1/150)$ do vão, menor que o limite acima imposto, e que a carga aplicada distribui-se uniformemente sobre a superfície envidraçada e sobre os caixilhos.

No entanto, é preciso ter em atenção a certos casos, como por exemplo janelas onde existem travessas e pontos de fecho. Estas singularidades transmitem os esforços à caixilharia pontualmente.

A complexidade das secções aliada aos inúmeros materiais utilizados para fazer com que uma caixilharia seja mecanicamente estável, aumenta a dificuldade em determinar quais os componentes que de facto contribuem para a resistência mecânica e em que proporção essa contribuição se dá. Assim, os valores apresentados para as deformações previstas são de valor superior às reais, estando, por isso, do lado da segurança.

De maneira a tornar mais simples e directa a quantificação das deformações foi necessário tomar algumas medidas de simplificação, nomeadamente:

- a análise deverá ser feita para o elemento mais desfavorável e apresentará as deformações mais elevadas, secundarizando todos os outros;
- os caixilhos encontram-se simplesmente apoiados no contorno do vão e qualquer preenchimento destes, não contribui para a rigidez do perfil.;
- o vento exerce uma pressão uniforme sobre toda a superfície do vidro;
- os vedantes e perfis complementares como bites, não influenciam o comportamento do perfil e portanto não têm influência na rigidez;
- uma vez que a rigidez atribuída pelas ferragens e por pontos de ligação é muito difícil de prever, estes são descartados;
- as rotações dos perfis em torno dos seus eixos também se encontram desprezadas;

4.3.2. RESISTÊNCIA [74, 75]

A análise ao estado limite último implica sujeitar os componentes de uma janela à rotura ou deformação plástica.

O grande princípio que rege esta análise é assegurar que os esforços actuantes, (S_d), sejam menores que a capacidade resistente das caixilharias, (R_d), $S_d \leq R_d$.

A quantificação de acções fica então definida como um somatório entre as acções majoradas com os respectivos coeficientes de majoração, onde $G_{k,j}$ é uma acção permanente de valor característico, $Q_{1,k}$ é a acção variável base de valor característico e $Q_{k,i}$ é a acção variável acompanhante. A sigla $\gamma_{G,j}$ é o coeficiente de segurança para a acção permanente, $\gamma_{Q,1}$ é o coeficiente de segurança para a acção variável de base e $\gamma_{Q,i}$ é o coeficiente de segurança para a acção variável acompanhante. $\Psi_{0,i}$ é um coeficiente que impõe a redução da contribuição da acção variável acompanhante $Q_{k,i}$.

$$S_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4.20)$$

Fazendo a devida actualização para as acções que actuam nas janelas, a expressão acima fica reduzida apenas à acção variável do vento.

$$S_d = \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \quad (4.21)$$

As acções acidentais correspondem a esforços resultantes de deficiências de utilização ou esforços resultantes do impacto de corpos contra a caixilharia. Este tipo de esforços não são incluídos na análise porque este tipo de acção é verificada em laboratório através de ensaio. A complexidade do cálculo dá origem a resultados pouco credíveis.

Visto que na maioria das vezes as caixilharias estão colocadas verticalmente, acções como o peso próprio ou outras que actuam nessa direcção podem ser excluídas do cálculo.

As dilatações térmicas podiam induzir esforços na estrutura. No entanto, desde que sejam previstas juntas que permitam absorver este tipo de esforços, estes não têm relevância.

No que toca a acções perpendiculares ao plano da caixilharia, o vento aparece como solicitação mais desfavorável. Se a considerarmos como acção variável de base, as restantes possíveis acções que actuem no mesmo plano, não têm significado.

No entanto, o estado limite condicionante para o dimensionamento de caixilharias é o estado limite de utilização.

O processo de verificação desta afirmação fica definido com a relação entre o comprimento do vão, L , e a distância da fibra mais afastada da secção ao eixo neutro, c . A distribuição de cargas nos elementos mais desfavoráveis, geralmente os elementos centrais, assemelha-se ao carregamento de uma viga simplesmente apoiada. A nível de carregamento a consideração de uma carga uniformemente distribuída não corresponde à realidade, mas dá resultados próximos e que estão do lado da segurança.

A deformada máxima para a situação de carga acima referida é calculada com base na seguinte expressão, onde P é a carga aplicada, l é o comprimento do vão, E é o módulo de elasticidade do material e I é a inércia da secção.

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{5 \cdot P \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (4.22)$$

Sabendo que o momento máximo corresponde ao ponto onde é obtida maior deformação e que fica definido pela expressão

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{P \cdot l^2}{8} \quad (4.23)$$

Substituindo na expressão anterior obtemos a seguinte relação

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{5 \cdot L^2}{48 \cdot E \cdot I} \cdot M_{m\acute{a}x} \quad (4.24)$$

O momento resistente, M_{rd} , é definido por um relação entre a tensão de cedência do material, σ_{yd} , a inércia da secção, I , e a distância da fibra mais afastada ao eixo neutro, c ,

$$M_{rd} = \frac{\sigma_{yd} \cdot I}{c} \quad (4.25)$$

Sabendo que a pressão para o estado limite último é 1,7 vezes superior à pressão para o estado limite de utilização e admitindo que o estado limite de utilização é a situação mais crítica, a expressão 4.25 toma a seguinte forma

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{5 \cdot L^2 \cdot \sigma_{yd} \cdot 1}{48 \cdot E \cdot c \cdot 1,7} \quad (4.26)$$

Definindo a expressão anterior em função de $\delta_{m\acute{a}x}/L$,

$$\frac{\delta_{m\acute{a}x}}{L} = \frac{5 \cdot L \cdot \sigma_{yd} \cdot 1}{48 \cdot E \cdot c \cdot 1,7} \quad (4.27)$$

Sabendo que o módulo de elasticidade do alumínio mais utilizado em caixilharias, AA 6060, é de 69 GPa, que a respectiva tensão de cedência é de 147 MPa e que o deslocamento relativo mais permissivo do estado limite de utilização é $(1/150) \cdot L$, obtém-se a seguinte relação para que o estado limite último possa ser dispensado

$$\frac{L}{c} \geq 51 \quad (4.28)$$

Segundo o ITE 51 [74], para outros sistemas de carga, a relação acima apresentada pode ir até $L/c \geq 65$. Utilizando as condições impostas pelo estado limite de utilização para o dimensionamento, o valor mais frequente para a relação L/c anda na ordem dos 100, embora se possa aproximar mais do limite atrás referido, mas nunca o iguala.

Para as fachadas leves, a pressão de cálculo para o estado limite de utilização é cerca de 1,2 vezes inferior que a do estado limite último, o que se traduz num decréscimo da relação L/c para $L/c \geq 35$.

Como podemos verificar, o estado limite último não condiciona o dimensionamento das caixilharias, nunca atingindo este estado.

4.3.3. QUANTIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DAS SECÇÕES

Depois de identificados os elementos estruturais mais desfavoráveis e de obtidas as acções actuantes nas caixilharias através da quantificação da acção do vento ou da classe de pressão pretendida, podemos passar ao dimensionamento propriamente dito. A distribuição de esforços é um aspecto que influencia directamente o dimensionamento e portanto merece ser caracterizada.

O modelo actual de dimensionamento remete para uma distribuição de carga uniformemente distribuída pelos elementos mais desfavoráveis, definida em função de áreas de influência exemplificadas na figura 4.30. A área a considerar no dimensionamento apenas varia em função da geometria da janela.

Através do produto entre a pressão actuante, P , e a largura da área de influência, $b/2$, obtém-se a carga distribuída por metro de comprimento. Caso se pretenda dimensionar apenas um dos perfis, é necessário ter em atenção as áreas de influência escolhidas.

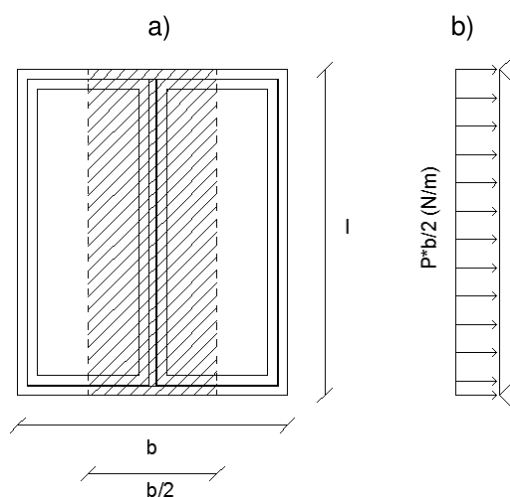


Fig. 4.9 – a) Área de influência considerada para dimensionamento dos perfis centrais; b) Esquema de carga dos perfis

O tipo de janela a dimensionar influencia o processo de dimensionamento. Há dois grupos de janelas; janelas em que os perfis se encontram alinhados no mesmo plano (janelas de bater, basculantes,

projectantes) e janelas em que os perfis se encontram em planos paralelos (janelas de correr, guilhotina).

No primeiro tipo o dimensionamento pode ser feito tendo em conta a área afectada aos dois perfis, conforme ilustrado na figura 4.30. Visto que os dois perfis se encontram alinhados no mesmo plano, a inércia de um perfil pode ser facilmente obtida dividindo o resultado final por dois.

No segundo caso o dimensionamento deve ser feito para um dos perfis visto que pode haver uma interacção entre os perfis que pode fazer com que a evolução das deformadas não seja linear. Além disso se os perfis quando estão solicitados podem trabalhar em conjunto havendo por isso diferenças nas inércias, visto que a altura varia ao cubo.



Fig. 4.10 – Tipos de janelas em função da disposição dos perfis centrais

Independentemente do tipo de janela, a deformada máxima ocorre a meio vão e pode ser quantificada através da expressão

$$\delta = \frac{5 \cdot P \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (4.19)$$

Onde P é a carga definida por metro de comprimento, l é a altura da janela, E é o módulo de elasticidade do alumínio e I é a inércia final. Definindo a expressão 4.19 em ordem à inércia do perfil e limitando a deformação a l/150 ou 15 mm, o que for maior, para janelas e portas exteriores com vidro simples, l/200 ou 11 mm para portas e janelas com vidros isolantes (duplos e triplos) e l/200 ou 15 mm para fachadas leves, obtêm-se as seguintes expressões para quantificação da inércia dos perfis.

Quadro 4.7 – Expressões para o cálculo das deformadas máximas em função do tipo de vidro das caixilharias

	Deformadas máximas permitidas	Inércia (m ⁴)
Portas e janelas exteriores com vidro simples	l/150	$I = \frac{750 \cdot P \cdot l^3}{384 \cdot E}$
	15 mm	$I = \frac{5 \cdot P \cdot l^4}{5,76 \cdot E}$
Portas e janelas com vidros isolantes (duplos ou triplos)	l/200	$I = \frac{1000 \cdot P \cdot l^3}{384 \cdot E}$
	11 mm	$I = \frac{5 \cdot P \cdot l^4}{4,224 \cdot E}$
Fachadas leves	l/200	$I = \frac{1000 \cdot P \cdot l^3}{384 \cdot E}$
	15 mm	$I = \frac{5 \cdot P \cdot l^4}{5,76 \cdot E}$

4.4. EXEMPLO DE MODELAÇÃO ESTRUTURAL DE JANELAS

Partindo de alguns dados fornecidos pelo Laboratório de Sistemas e Componentes da FEUP (LSC) e através do software de modelação *Robot Structural Analysis*, modelaram-se alguns casos de maneira a perceber os aspectos mais importantes no que toca à tipificação estrutural e ao comportamento das caixilharias. Os grandes objectivos passam por conseguir compreender o comportamento estrutural destes elementos quando sujeitos às pressões do vento, conseguir detectar as possíveis limitações e dificuldades encontradas na definição de modelos e ainda encontrar um modelo capaz de representar a realidade.

A análise dos modelos é feita tendo em conta o comportamento face a pressões positivas e negativas, recorrendo a dois modelos para cada tipo de pressão. O modelo 1 apresenta-se como um modelo mais completo onde é representado o sistema de apoio de toda a janela e onde são contabilizados todos os elementos constituintes e formas de ligação entre componentes. O modelo 2 tem um carácter mais simplista, semelhante ao utilizado para dimensionamento, que consiste geralmente em barras simplesmente apoiadas, onde não são contabilizados todos os elementos constituintes das caixilharias nem a interacção entre eles, apenas os mais desfavoráveis e com importância estrutural.

Relativamente às propriedades gerais da modelação, todos os componentes são constituídos por alumínio, material previamente definido no software, e o sistema de carga é feito com pressões uniformemente distribuídas pelas folhas. O material vidro não se encontrava definido no software e portanto foi necessário defini-lo com base nas propriedades indicadas no quadro 4.6. A ligação das folhas de vidro aos perfis de alumínio é simulada com apoios duplos, libertando assim as rotações e eliminando os ganhos de rigidez nos perfis de alumínio devido ao vidro.

Quadro 4.8 - Propriedades mecânicas do vidro [10] e do alumínio [76,77]

	Vidro	Alumínio
Módulo de elasticidade, E	70000 MPa	70000 MPa
Coefficiente de Poisson, ν	0,22	0,34
Módulo de distorção, G	26200 MPa	27800 MPa
Densidade, ρ	25 kN/m ³	27 kN/m ³
Coefficiente de dilatação térmica,	9×10^{-6}	24×10^{-6} mm/°C
Resistência à compressão	1000 MPa	84,5 MPa

As secções foram definidas com base nas propriedades geométricas das secções dos perfis, área e inércias segundo x e y. Considerou-se ainda que o aro fixo se encontra ligado rigidamente ao vão e que as dimensões aparecem definidas com base nos eixos médios dos caixilhos móveis. Os acessórios com importância estrutural, como dobradiças e pontos de fecho ao aro fixo, foram representados com apoios duplos e as ligações entre as folhas foram materializadas com base em barras ligadas rigidamente aos perfis.

No primeiro modelo, como é utilizado um painel de vidro o programa distribui os esforços segundo uma malha de elementos finitos, que distribui as acções pelos apoios em função da sua distribuição pelo vão.

O modelo 2 para pressões positivas e negativas corresponde normalmente a uma viga simplesmente apoiada com uma carga distribuída ao longo do vão de forma trapezoidal, calculada a partir do produto

entre a pressão de ensaio e metade da largura da folha onde está inserida. Há no entanto duas excepções em que o sistema de apoio considerado não permite a aplicação deste modelo (janela de bater com duas folhas móveis para pressões positivas e janela oscilo-batente de duas folhas (1 móvel e 1 fixa) para pressões positivas). Uma vez que uma das folhas não possui pontos de fecho ou elementos de ligação ao vão próximo dos elementos centrais, não é possível aproximar o carregamento da folha a um carregamento com base numa estrutura simplesmente apoiada. Nestes casos acessórios como pontos de fecho entre as folhas são fundamentais para uniformizar os esforços pelos perfis centrais e assim melhorar o comportamento da janela.

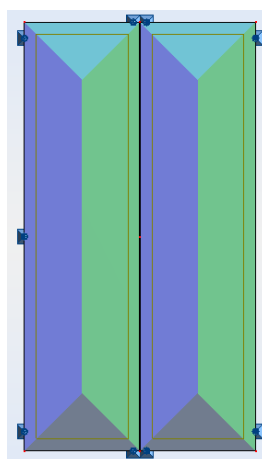


Fig. 4.11 – Exemplo de distribuição de esforços segundo áreas de influência trapezoidais e triangulares, em função da dimensão do vão

4.4.1. JANELA DE BATER COM DUAS FOLHAS MÓVEIS

Este primeiro modelo de ensaio consiste numa janela de duas folhas móveis de bater, de abertura para o interior e tem a particularidade de uma das folhas assentar na outra. Estas encontram-se suportadas por oito dobradiças distribuídas simetricamente sobre o contorno do vão e unidas por 3 pontos de fecho situados nos elementos centrais. Existem ainda dois pontos de fecho ao aro fixo situados junto ao perfil central da folha da direita, activados pelo sistema de fecho.

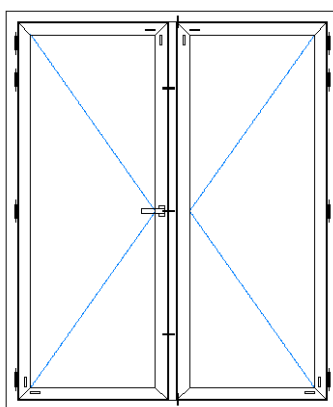


Fig. 4.12 - Esquema da janela de bater de duas folhas móveis

4.4.1.1. Pressões positivas

O primeiro modelo para pressões positivas apoia a janela nos seus pontos de fecho ao aro fixo e nas dobradiças situadas no interior e os pontos de fecho entre as folhas garantem a ligação entre elas, conferindo maior rigidez ao sistema para absorver os esforços. Apesar de se representar toda a estrutura, apenas tem importância analisar os perfis mais desfavoráveis, ou seja, os dois perfis centrais. Com uma solicitação de 1200 Pa, o modelo apresentado revelou uma deformada de 5,861 mm, valor relativamente perto dos 7,6 mm apresentados em ensaio de laboratório.

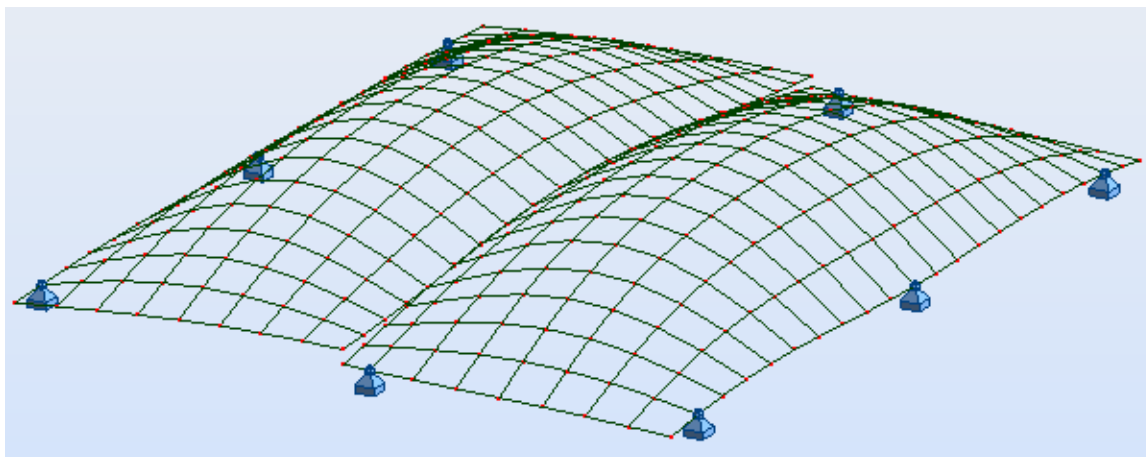


Fig. 4.13 - Deformada para pressões positivas com o modelo 1

Tal como foi referido anteriormente, o segundo modelo revela-se mais simplista. Para este caso, uma vez que existem pontos de fecho muito próximos do elemento central da folha da direita, optou-se por representá-la como uma viga simplesmente apoiada com uma carga trapezoidal devidamente calculada a partir da pressão aplicada. A folha móvel da esquerda não possui sistema de fixação semelhante à anterior e, portanto, foi considerado um sistema de apoio igual ao do modelo 1 para esta folha. As ligações entre perfis mantiveram-se, pois apresentam importância estrutural.

A deformada obtida para os elementos centrais desta janela foi de 8,526 mm, ultrapassando assim o valor de ensaio em laboratório, 7,6 mm.

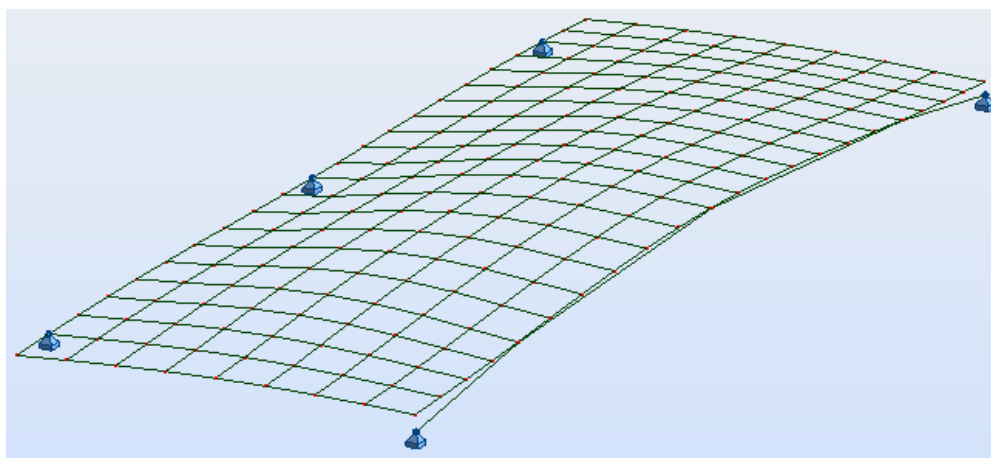


Fig. 4.14 - Deformada para pressões positivas com o modelo 2

4.4.1.2. Pressões negativas

O comportamento desta janela quando sujeita a pressões negativas é completamente diferente. Neste caso o sistema de apoio no vão é contínuo e faz-se ao longo do contorno do vão através de um apoio duplo, libertando assim as rotações dos perfis apoiados. Os pontos de fecho centrais são importantes na medida em que uniformiza os deslocamentos nos elementos centrais. Com uma pressão de 1200 Pa obteve-se uma deformada de 2,5 mm, muito inferior aos 10,4 mm evidenciados pelo ensaio.

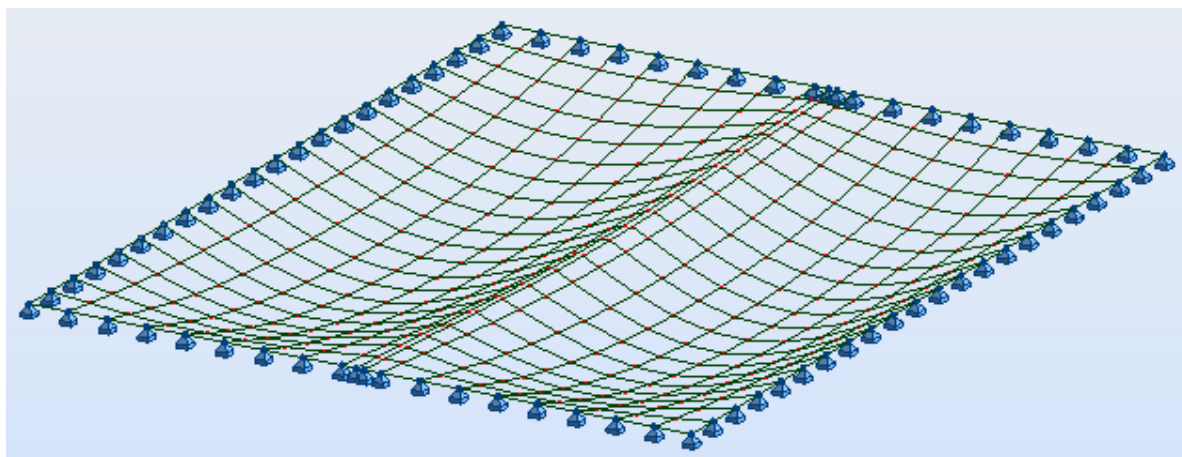


Fig. 4.15 - Deformada para pressões negativas com o modelo 1

O modelo mais simplista é composto por duas barras simplesmente apoiadas, onde são aplicadas duas cargas trapezoidais de valor igual, calculadas com base nas áreas de influência. Os pontos de fecho entre as folhas foram considerados, pois influenciam o comportamento estrutural da janela, nomeadamente dos elementos centrais. Com uma pressão de 1200 Pa obteve-se uma deformada de 10,2 mm, muito próxima da deformada obtida com o ensaio laboratorial.

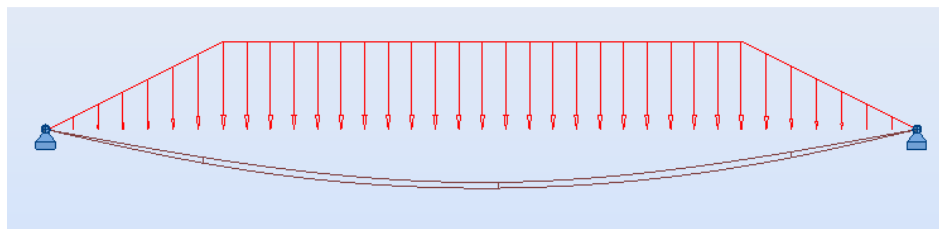


Fig. 4.16 - Deformada obtida para modelo 2 com pressões negativas

4.4.2. JANELA OSCILO-BATENTE DE DUAS FOLHAS (1 MÓVEL E 1 FIXA)

Esta janela é constituída por duas folhas, uma oscilo-batente e uma fixa, e apresenta a particularidade de apresentar um elemento central fixo que suporta as duas folhas. Relativamente aos acessórios, esta é constituída por duas dobradiças interiores localizadas no limite superior e inferior esquerdo da parte móvel e cinco pontos de fecho, 2 situados no mesmo alinhamento das dobradiças, permitindo assim a fixação ao aro fixo, e 3 situados no extremo oposto da parte móvel, fazendo a ligação ao elemento fixo central.

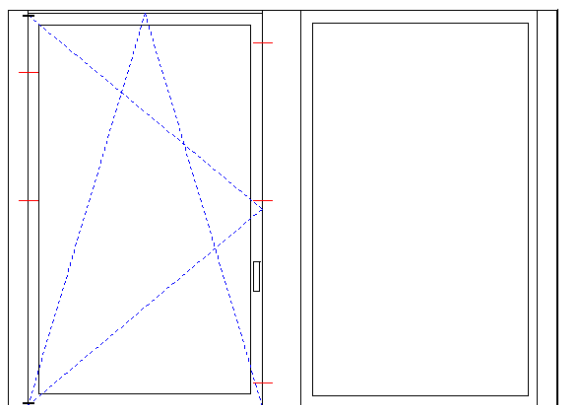


Fig. 4.17 - Esquema da janela oscilo-batente de duas folhas

4.4.2.1. Pressões positivas

O primeiro modelo para simular o comportamento das janelas considera as duas folhas da janela e os acessórios com relevância para o comportamento desta. A folha móvel encontra-se apoiada em duas dobradiças materializadas com dois apoios duplos e em 5 pontos de fecho, onde 3 deles fazem a ligação entre a folha móvel e o elemento fixo central e os outros 2 auxiliam as dobradiças na distribuição de esforços ao aro fixo. Por sua vez, a folha fixa encontra-se apoiada no seu contorno com base em apoios duplos. Quando solicitada com uma carga aplicada de 1600 Pa, obteve-se uma deformada dos elementos centrais de 1,383 mm, menor que a deformada real, 2,0 mm.

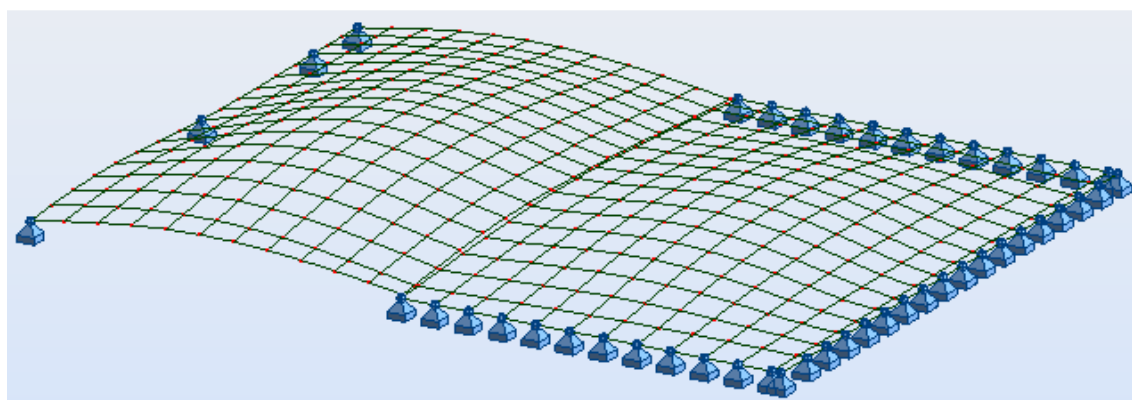


Fig. 4.18 - Deformada para pressões positivas com o modelo 1

O segundo modelo considera apenas uma barra com as propriedades geométricas do elemento fixo central solicitada por uma carga que engloba a carga proveniente das duas folhas adjacentes, calculadas com base nas áreas de influência. Visto que as duas folhas têm dimensões diferentes, apesar de a pressão de ensaio ser igual, o valor das cargas são diferentes. Com o modelo considerado obteve-se uma deformada de 2,378 mm, valor muito próximo do obtido em ensaio de laboratório.

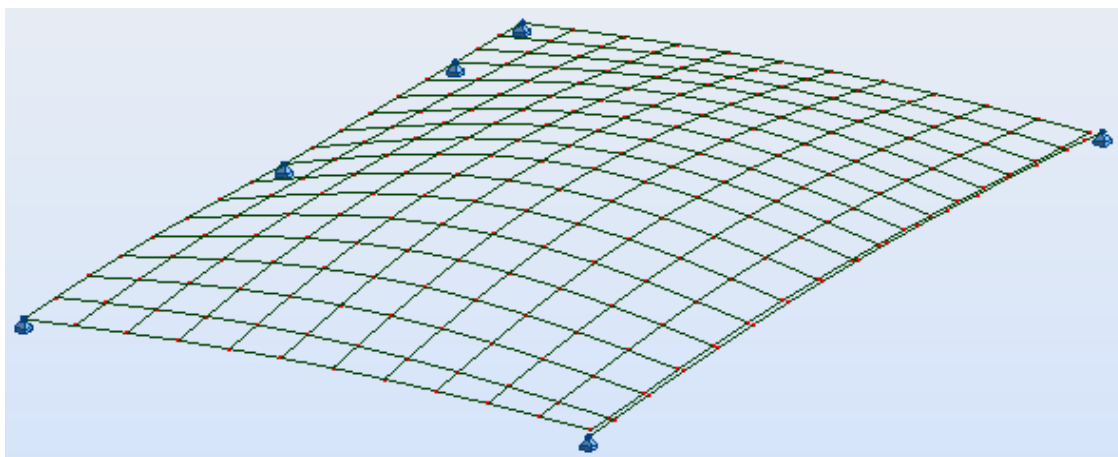


Fig. 4.19 - Deformada para o modelo 2 com pressões positivas

4.4.2.2. Pressões negativas

O modelo 1 para pressões positivas e negativas difere apenas no sistema de apoio da folha móvel da caixilharia. Para pressões negativas o apoio da folha móvel no aro fixo faz-se de maneira contínua recorrendo a apoios duplos de maneira a contabilizar possíveis rotações dos perfis da folha. Com este modelo a deformada obtida foi de 1,110 mm, inferior à obtida com o ensaio laboratorial. Em laboratório obteve-se para uma pressão de ensaio de 1600 Pa um deslocamento de 1,9 mm, muito semelhante ao obtido ao para pressões positivas, visto que a carga e o elemento resistente é o mesmo.

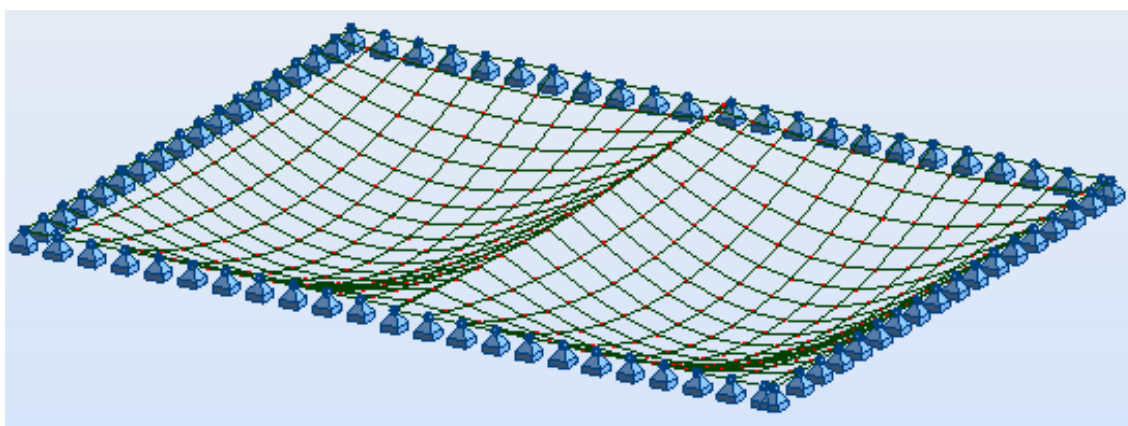


Fig. 4.20 - Deformada para pressões negativas com o modelo 1

O segundo modelo, tal como para pressões positivas, consiste numa barra correspondente ao elemento fixo central onde descarregam duas cargas calculadas a partir das áreas de influência de cada folha. A deformada prevista por este modelo foi de 2,094 mm, valor muito mais próximo que o obtido no modelo 1.

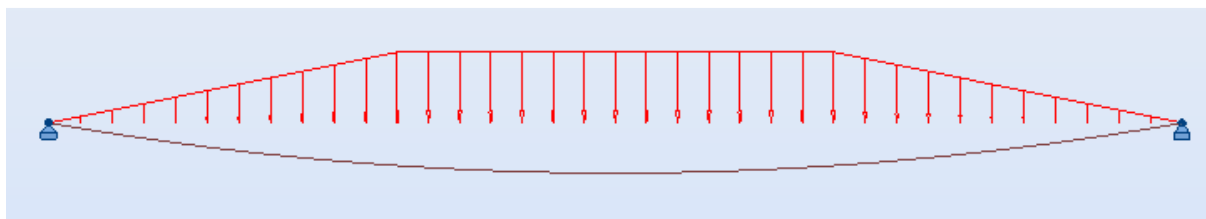


Fig. 4.21 - Deformada obtida para modelo 2 com pressões negativas

4.4.3. JANELA OSCILO-PARALELA DE DUAS FOLHAS (1 MÓVEL E 1 FIXA)

Esta janela é composta por uma folha móvel oscilo-paralela que se encontra fixa por 6 pontos de fecho, dos quais 5 fazem a ligação entre a parte móvel e o aro fixo e um faz a ligação entre a folha móvel e o elemento central da folha fixa. Os elementos mais desfavoráveis desta janela são os dois perfis centrais das duas folhas, que recebem parte da carga que actua na respectiva folha, distribuída segundo áreas de influência.

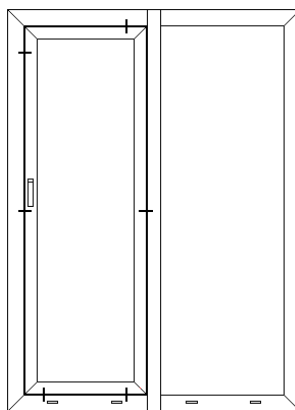


Fig. 4.22 - Vista interior da janela oscilo-paralela

4.4.3.1. Pressões positivas

O primeiro modelo considerado consiste em modelar duas folhas, uma que está apoiada continuamente no vão, a folha fixa, e a outra que se encontra apoiada nos seus pontos de fecho ao aro fixo, a folha móvel. Todos os apoios considerados foram materializados utilizando apoios duplos, libertando possíveis rotações dos perfis quando se encontram carregados. O ponto de fecho central é importante para garantir a ligação entre os perfis centrais e reduzir a diferença de deslocamentos diferenciais entre os dois perfis centrais. Com uma carga aplicada de 1600 Pa com o modelo obteve-se uma deformada de 0,848 mm, longe dos 2,9 mm obtidos em ensaio de laboratório.

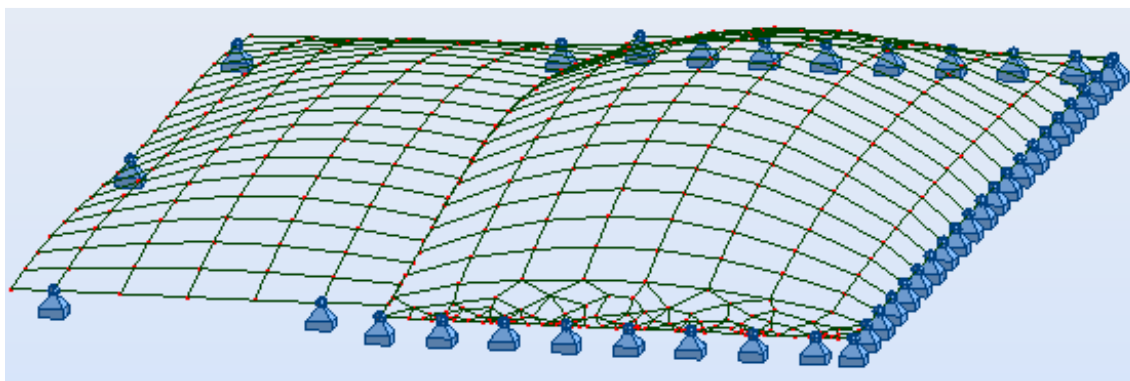


Fig. 4.23 – Deformada para pressões positivas com o modelo 1

O segundo modelo, que segue um critério mais simplista, apenas considera os elementos mais desfavoráveis, os perfis verticais centrais, e as cargas que lhes correspondem. O ponto de ligação entre folhas tem influência dos resultados e como tal foi tido em conta. O deslocamento máximo verificado para este caso foi de 2,956 mm. Encontra-se bem evidenciada a diferença de deformadas entre os dois perfis centrais e a importância que o ponto de fecho tem neste modelo.

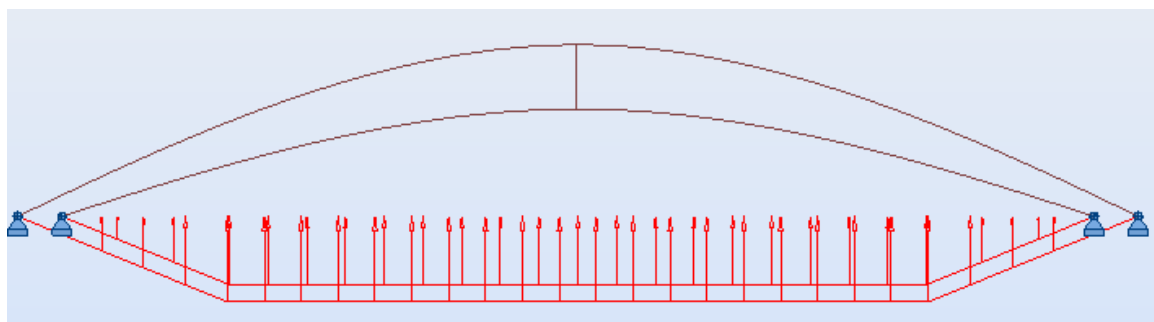


Fig. 4.24 - Deformada para o modelo 2 com pressões positivas

4.4.3.2. Pressões negativas

O primeiro modelo aqui considerado é muito semelhante a outros exemplos já estudados. Neste caso o apoio das folhas é feito de maneira contínua em todo o perímetro da janela e também tem em conta o elemento central que une os perfis. Com a aplicação de uma carga igual à pressão de ensaio obteve-se uma deformada de 0,625 mm, valor muito longe dos 3,8 mm obtidos em ensaio.

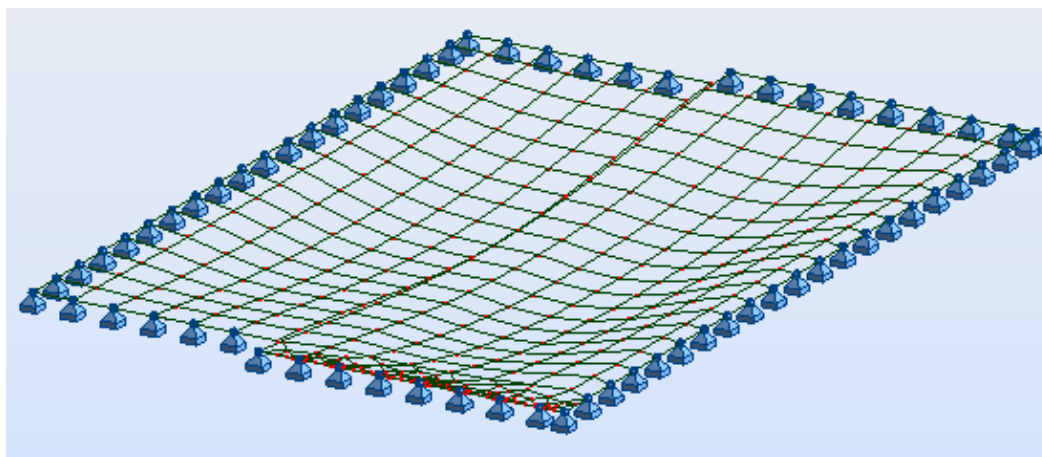


Fig. 4.25 - Deformada para pressões negativas com o modelo 1

O modelo 2 para este tipo de janela quando está sujeito a pressões negativas consiste em duas barras simplesmente apoiadas, solicitadas com cargas trapezoidais definidas com base na área correspondente a cada perfil central. Para uma pressão de -1600 Pa, obteve-se uma deformada de $5,161$ mm, ultrapassando os $3,8$ mm obtidos em ensaio. Também neste caso o elemento que une os perfis centrais é importante para uniformizar os deslocamentos dos dois perfis centrais e garantir um melhor desempenho desta janela.

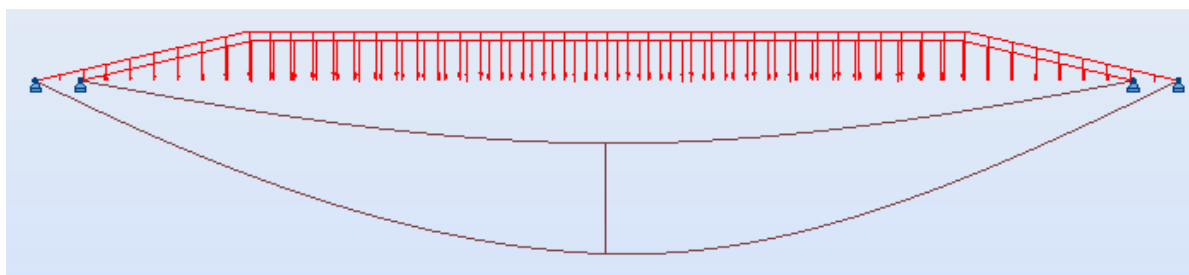


Fig. 4.26 - Deformada obtida para modelo 2 com pressões negativas

4.4.4. JANELA OSCILO-BATENTE DE DUAS FOLHAS MÓVEIS

Esta janela é composta por duas folhas móveis, uma de abrir e outra oscilo-batente, de abertura para o interior. É constituída ainda por 4 pontos de fecho ligados directamente ao aro fixo, junto aos elementos centrais. Possui um único ponto de fecho central situado a meio dos elementos centrais que une as duas folhas móveis. A abertura faz-se para o interior com a ajuda de dobradiças distribuídas assimetricamente no vão, 3 do lado esquerdo e 2 do lado direito.

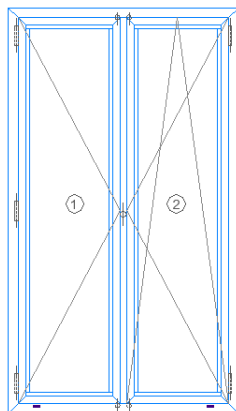


Fig. 4.27 - Janela oscilo-paralela de duas folhas móveis

4.4.4.1. Pressões positivas

Como podemos verificar na figura 4.32 referente ao modelo 1, a janela encontra-se apoiada em 9 apoios duplos distribuídos assimetricamente pelo vão conferindo maior rigidez a uma das folhas, à folha da esquerda, o que pode eventualmente resultar em deslocamentos diferentes para as duas folhas. Quando sujeita a pressões positivas é o ponto de fecho central que garante a ligação entre as duas folhas móveis, ajudando a resolver as diferenças de rigidez das folhas. Outro aspecto importante é o facto de dois dos pontos de fecho existentes estarem situados muito próximo dos perfis centrais, fazendo com que haja uma aproximação do modelo 1 ao modelo 2. A pressão de ensaio neste caso é de 800 Pa, revelando uma deformada nos elementos centrais de 1,168 mm, próximo dos 1,51 mm registados no ensaio.

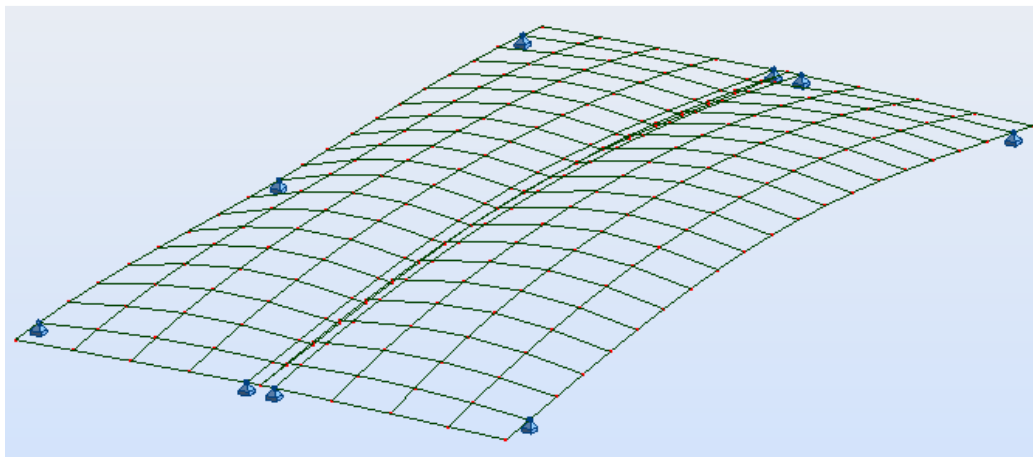


Fig. 4.28 - Deformada do modelo 1 para pressões positivas

No segundo modelo, ambas as folhas ficam representadas por duas barras carregadas ao longo de todo o vão, com uma carga trapezoidal de igual valor e definida a partir da pressão de ensaio. Manteve-se o único ponto de ligação entre as barras, situado a meio vão. Obteve-se uma deformada superior ao obtido com o ensaio laboratorial, 2,217 mm, correspondente ao perfil central da folha da direita. O ponto de fecho central que une os dois perfis mais desfavoráveis, permite, mais uma vez, a uniformização dos deslocamentos e um aumento de rigidez destes elementos.

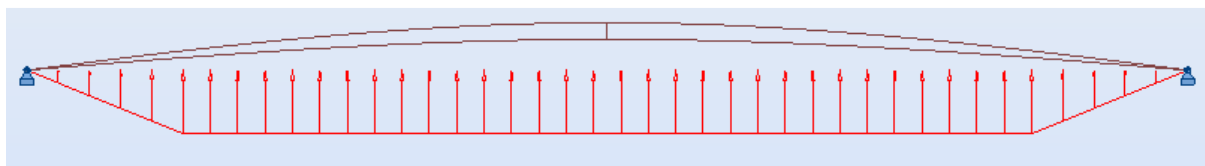


Fig. 4.29 - Deformada para o modelo 2 com pressões positivas

4.4.4.2. Pressões negativas

Como é comum no caso de pressões negativas, neste caso as folhas móveis também assentam continuamente ao longo do contorno do vão e esse apoio é representado através de apoios duplos e os elementos mais desfavoráveis também correspondem aos perfis centrais. Quando sujeito a uma pressão negativa igual a pressão de ensaio, 800 Pa, o modelo revelou uma deformação de 0,433 mm, valor muito inferior aos 1,53 mm revelados em ensaio.

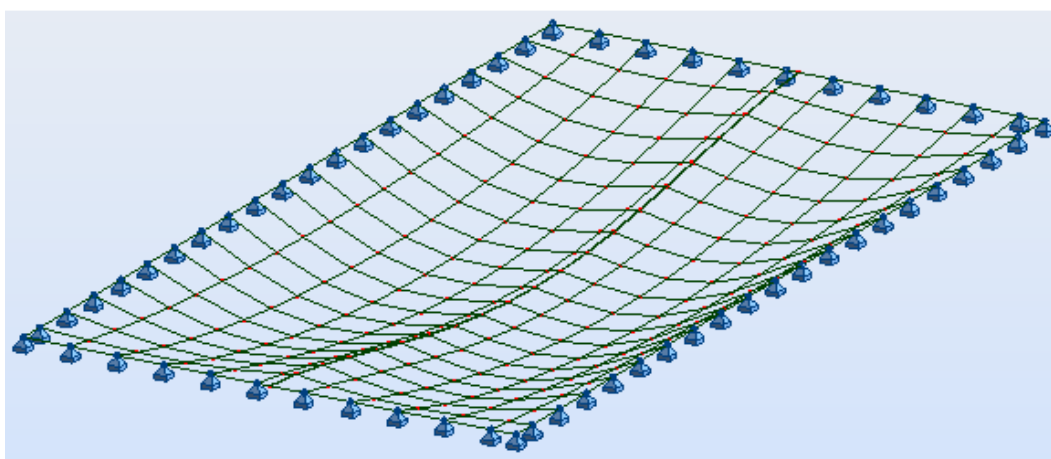


Fig. 4.30 - Deformada para pressões negativas com o modelo 1

O modelo 2 considera duas barras simplesmente apoiadas correspondentes aos dois perfis centrais mais desfavoráveis, com duas cargas trapezoidais de valor igual definido a partir da pressão de ensaio, 800 Pa. A análise da deformada revela que há deformações diferentes das duas barras devido às diferentes propriedades geométricas que apresentam, uma vez que o comprimento e o valor da carga são iguais. Para este caso o perfil da folha da direita desloca-se 1,742 mm, valor superior ao obtido no ensaio, 1,53 mm.

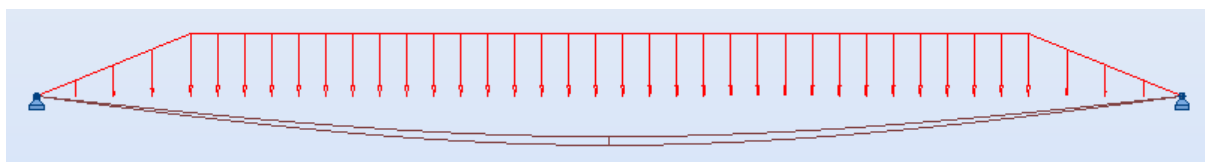


Fig. 4.31 - Deformada obtida para modelo 2 com pressões negativas

5

ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1. ANÁLISE E EXPLORAÇÃO DE RESULTADOS

Partindo dos modelos realizados no capítulo anterior para exemplificar a modelação de caixilharias, irá ser feita uma análise ao nível das deformadas e do comportamento dos elementos mais desfavoráveis da janela.

De maneira a tornar esta tarefa mais simples, o Quadro 4.5 faz um resumo dos principais resultados dos modelos considerados.

Quadro 5.1 – Resumo dos principais resultados dos modelos considerados para cada janela

Nº	Tipo de janela	Pressão de ensaio (Pa)	Deformada do ensaio (mm)	Modelo	Deformada (mm)
1	Janela de bater com duas folhas móveis	1200	7,6	1	5,861
				2	8,526
		-1200	10,4	1	2,500
				2	10,200
2	Janela oscilo-batente de duas folhas (1 móvel e 1 fixa)	1600	2,0	1	1,383
				2	2,088
		-1600	1,9	1	1,110
				2	2,094
3	Janela oscilo-paralela de duas folhas (1 móvel e 1 fixa)	1600	2,9	1	0,848
				2	2,956
		-1600	3,9	1	0,700
				2	5,160
4	Janela oscilo-batente de duas folhas móveis	800	1,51	1	1,168
				2	2,217
		-800	1,53	1	0,433
				2	1,742

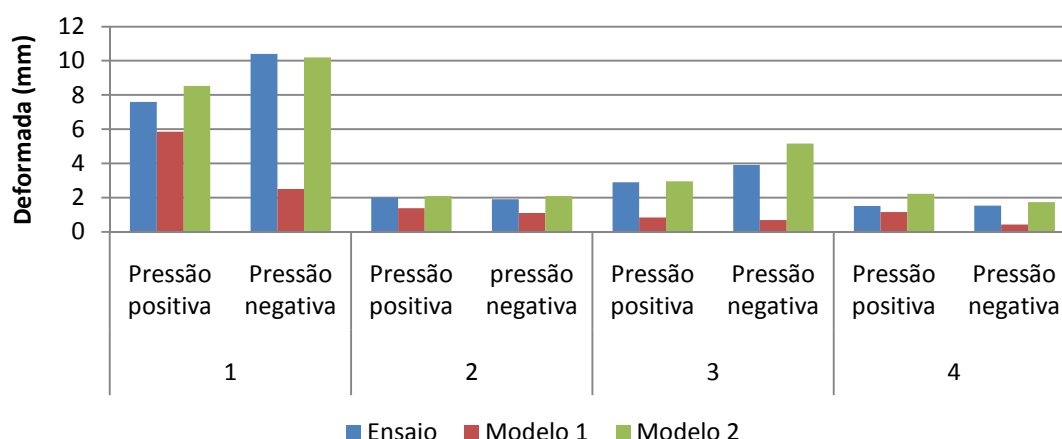


Fig. 5.1 – Comparação entre a deformada dos ensaios e as deformadas obtidas nos dois tipos de modelo, para cada tipo de janela e em função do tipo de pressão

Efectuando uma análise ao modelo 1 para cada tipo de janela considerada, podemos verificar que em todos os tipos de janela analisados os resultados nunca atingiram as deformações obtidas em laboratório e que na maioria das vezes há diferenças significativas entre eles.

Relativamente ao modelo 2 considerado em cada caso, podemos concluir que a grande maioria das deformações situa-se acima dos valores dos ensaios e são relativamente próximas das reais. Há no entanto 1 caso em que os valores do modelo 2 se situam abaixo dos resultados obtidos em laboratório, apesar do erro ser mínimo.

De uma maneira geral podemos dizer que os valores obtidos em laboratório situam-se dentro do intervalo criado pelo modelo mais completo, 1, e o modelo mais simplista, 2,, havendo no entanto uma excepção em que o valor de ensaio é superior ao dos dois modelos considerados.

Há vários factores que podem influenciar os resultados obtidos. Um deles é o facto de se ter considerado ligações 100% rígidas entre os perfis. Com este tipo de ligação o perfil vertical ao ser carregado mobiliza a sua capacidade resistente e a capacidade resistente à torção dos perfis horizontais adjacentes, tendo como resultado deformações menores às reais. Este fenómeno acontece no modelo 1 enquanto que no modelo 2 apenas são representados os perfis mais desfavoráveis, não havendo por isso interacção entre perfis.

A ligação entre os perfis de alumínio e os painéis de vidro no modelo 1 influencia os resultados na medida em que a ligação considerada para representar a interacção entre esses dois componentes foi materializada através de um apoio duplo contínuo. Na realidade esta ligação faz-se através de componentes com a função de fixar o vidro e consequentemente fazem com que haja alguma transmissão de esforços dos painéis para os perfis.

Por último, uma das grandes dificuldades encontrada foi a identificação dos elementos estruturais nas secções dos perfis. Para modelar uma caixilharia é necessário calcular as propriedades geométricas de uma secção e caso esta se revele muito complexa, esta tarefa pode tornar-se muito complicada e facilmente dar origem a erros.

Além da dificuldade de seleccionar os perfis que realmente suportam os esforços, não foram contabilizados elementos que apesar de terem uma função térmica ou de vedação, também contribuem para a capacidade resistente dos perfis.

Os pontos de fecho entre as folhas das janelas são elementos essenciais para garantir a estanquidade à água, a permeabilidade ao ar e conferir resistência à deformação. Nos casos em que há deformações diferentes entre os elementos mais desfavoráveis, este componente permite uniformizar as deformações dos dois perfis e diminuir a folga entre eles de maneira a que não haja entrada de água e ar e conferir maior resistência quando sujeitos a pressões.

5.2. OPTIMIZAÇÃO DOS MODELOS

Este subcapítulo tem como objectivo apresentar sugestões para a correcção de modelos teóricos, nomeadamente os elaborados no âmbito deste trabalho. Dos dois tipos de modelo podemos ver que o modelo 1 é o que mais se afasta dos valores reais e é aquele que melhor representa a realidade. De maneira a tornar este modelo mais real e aplicável, sugerem-se aqui algumas medidas que visam minorar a incerteza deste. Neste subcapítulo são sugeridas correcções no que toca à rigidez das ligações entre os perfis verticais e irá ser feita uma comparação entre os resultados obtidos inicialmente com o modelo 1 e outro modelo com uma distribuição de cargas segundo áreas de influência trapezoidais e triangulares. Assim podemos descobrir a influência da rigidez da ligação dos perfis no comportamento das caixilharias e perceber se há ou não uma aproximação entre os modelos com o elemento vidro e com base na distribuição de cargas sugerida.

5.2.1. ANÁLISE DA RIGIDEZ DA LIGAÇÃO ENTRE PERFIS HORIZONTAIS E VERTICAIS

A questão da rigidez nas ligações entre perfis verticais e horizontais parece ser um dos grandes problemas dos modelos elaborados. A solução encontrada consiste em aplicar coeficientes parciais de rigidez para diminuir a rigidez das ligações, obtidos através do quociente entre o valor da deformada obtida com o modelo 1 e a deformada real obtida em ensaio. Estes valores permitem um ponto de partida para conseguir obter o valor correcto do coeficiente parcial de rigidez e avaliar assim as ligações entre perfis horizontais e verticais do ponto de vista da resistência, sendo aplicados em todas as uniões entre perfis que a janela contém. No que toca à modelação do modelo propriamente dita, foram libertadas as rotações no eixo z e y ou x, caso se tratem de perfis horizontais ou verticais, respectivamente.

Quadro 5.2 – Coeficientes parciais de rigidez iniciais para os vários tipos de janela ensaiados

Nº	Tipo de janela (modelo 1)	Deformada do ensaio (mm)	Deformada do modelo 1 (mm)	Coef. parcial de rigidez
1	Janela de bater com duas folhas móveis	7,6	5,861	0,771
		10,4	2,5	0,240
2	Janela oscilo-batente de duas folhas (1 móvel e 1 fixa)	2,0	1,383	0,692
		1,9	1,110	0,584
3	Janela oscilo-paralela de duas folhas (1 móvel e 1 fixa)	2,9	0,848	0,292
		3,9	0,700	0,180
4	Janela oscilo-batente de duas folhas móveis	1,51	1,168	0,774
		1,53	0,433	0,283

Ao fim de várias tentativas de harmonizar os valores das deformadas reais e as obtidas com o modelo 1 de cada janela, obtiveram-se os valores dos coeficientes parciais de rigidez finais. Estes coeficientes permitem uma avaliação da resistência das ligações entre perfis horizontais e verticais e a sua implicação na distribuição dos esforços.

Quadro 5.3 – Coeficientes parciais de rigidez finais para os vários tipos de janelas ensaiados

Nº	Tipo de janela (modelo 1)	Pressão	Deformada do ensaio (mm)	Deformada final (mm)	Coef. parcial de rigidez final
1	Janela de bater com duas folhas móveis	Positiva	7,6	7,789	0,50
		Negativa	10,4	9,722	0,00
2	Janela oscilo-batente de duas folhas (1 móvel e 1 fixa)	Positiva	2,0	2,044	0,15
		Negativa	1,9	1,613	0,05
3	Janela oscilo-paralela de duas folhas (1 móvel e 1 fixa)	Positiva	2,9	2,621	0,00
		Negativa	3,9	2,807	0,00
4	Janela oscilo-batente de duas folhas móveis	Positiva	1,51	1,511	0,35
		Negativa	1,53	1,447	0,05

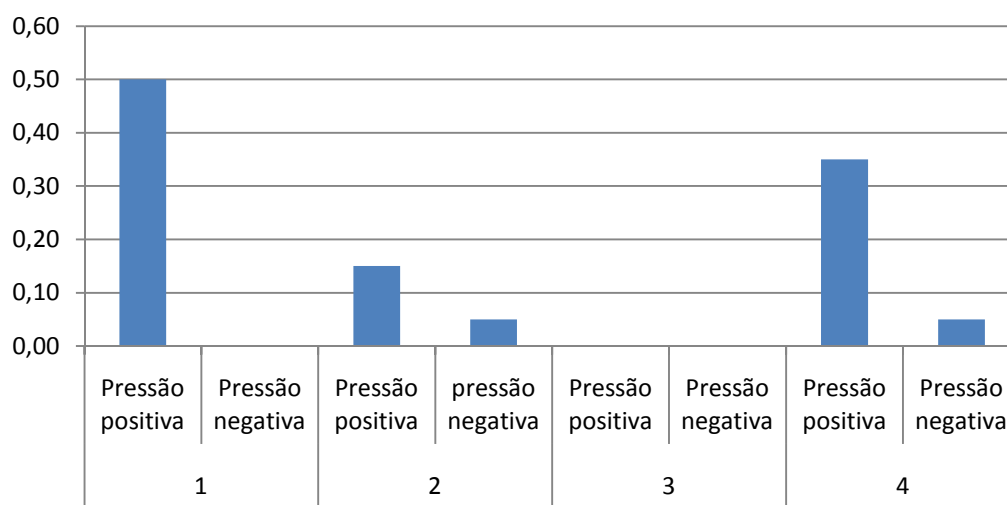


Fig. 5.2 – Comparação entre os coeficientes parciais de rigidez para os vários modelos

Analisando os resultados dos coeficientes parciais de rigidez finais podemos ver que o valores da rigidez nas ligações entre perfis horizontais e verticais no modelo 1 se situam entre os 0%, ligações rotuladas, e 50%, apresentando grande disparidade de valores. Também se pode verificar que o coeficiente depende do tipo de pressão aplicada, ocorrendo uma variação significativa quando se passa de pressões positivas para negativas, ou seja, a influência da rigidez destas ligações é mais significativa quando se está em pressões positivas do que para pressões negativas, pressão para a qual o apoio da estrutura se dá continuamente ao longo do contorno do vão, logo conferindo uma distribuição de esforços mais uniforme e sobrecarregando menos os elementos centrais.

5.2.2. INFLUÊNCIA DO VIDRO NAS JANELAS

De maneira a perceber a influência do vidro nas janelas, elaborou-se um modelo em que a única variação em relação ao modelo inicial é o facto de se ter considerado uma distribuição de cargas com base em áreas de influência trapezoidais e triangulares, dispostas de acordo com as dimensões da janela. Esta distribuição de cargas é feita com base numa propriedade que o *software* inclui, os *cladings*, exemplificada com a figura 4.9.

Quadro 5.4 – Comparação entre as deformadas obtidas com o vidro e com distribuição trapezoidal e triangular de cargas

Nº	Tipo de janela (modelo 1)	Pressão	Deformada do ensaio (mm)	Deformada com vidro (mm)	Deformada com <i>clading</i> (mm)
1	Janela de bater com duas folhas móveis	Positiva	7,6	5,861	5,728
		Negativa	10,4	2,500	2,500
2	Janela de correr com três folhas	Positiva	11,9	10,810	8,061
		Negativa	11,7	10,810	8,061
3	Janela oscilo-batente de duas folhas (1 móvel e 1 fixa)	Positiva	2,0	1,383	1,110
		Negativa	1,9	1,110	0,920
4	Janela oscilo-paralela de duas folhas (1 móvel e 1 fixa)	Positiva	2,9	0,848	0,761
		Negativa	3,9	0,700	0,681
5	Janela oscilo-batente de duas folhas móveis	Positiva	1,51	1,168	1,059
		Negativa	1,53	0,433	0,399

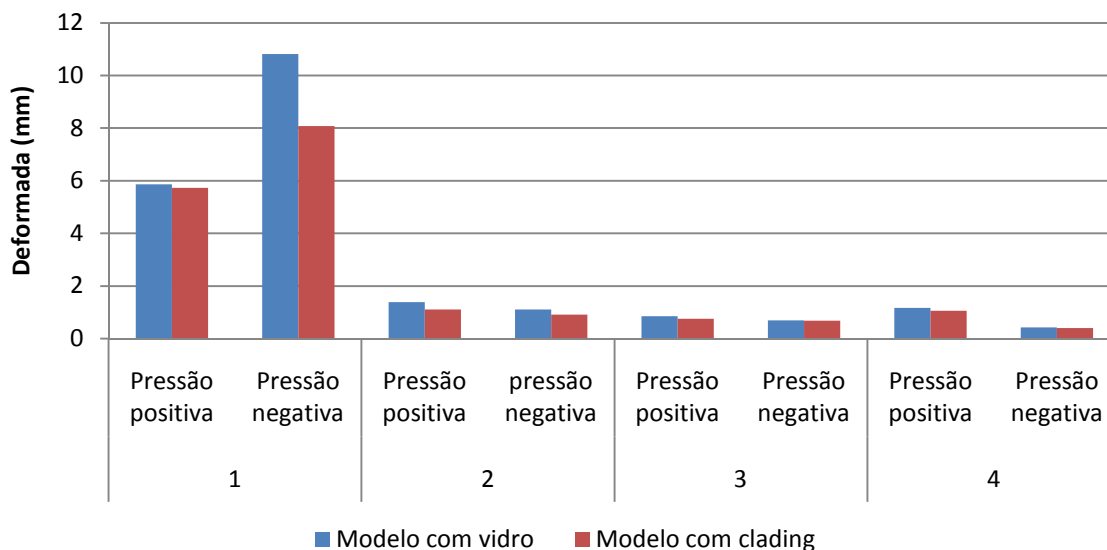


Fig. 5.3 – Comparação entre as deformadas do modelo com vidro e do modelo com *cladings*

Fazendo uma análise aos resultados desta comparação, podemos concluir que os modelos com carga trapezoidal e triangular podem ser considerados como modelos próximos dos modelos com vidro, embora os resultados com vidro sejam superiores ao modelo com áreas de influência. A explicação

para este facto reside no facto de o modelo com vidro distribuir os esforços com base num modelo de elementos finitos tendo como consequência uma distribuição de esforços mais real e em função dos apoios considerados, havendo por isso apoios e perfis mais carregados que outros. O modelo com *clading* distribui os esforços apenas com base na geometria da janela, não considerando a disposição dos apoios da janela. Apesar de no modelo mais completo ser utilizado o material vidro, os ganhos de resistência devido às suas características não influenciam os resultados, pois foi considerado uma ligação entre os perfis e o vidro materializada através de uma ligação dupla contínua.

5.3. APOIO AO PRÉ-DIMENSIONAMENTO [74]

De maneira a tornar o processo de dimensionamento mais expedito, elaboraram-se alguns gráficos que relacionam as principais variáveis que influenciam o dimensionamento de janelas. Como já foi especificado, o processo de dimensionamento de janelas é um processo muito aproximado que toma algumas simplificações, nomeadamente no tipo das acções actantes nos perfis e no sistema de apoio das janelas.

São várias as combinações que se podem fazer com as propriedades das janelas sob a óptica do dimensionamento. Como qualquer resultado de processo de dimensionamento, a obtenção das propriedades geométricas são o principal objectivo. A única variável que diz respeito a esse tipo de propriedades é a inércia mobilizada pelo perfil, sendo definida em função do módulo de elasticidade do material, E , da carga aplicada, P , do comprimento do vão, l e da deformada obtida, δ .

Numa primeira abordagem será mostrada a variação da inércia para as diferentes classes de pressão associadas a caixilharias, em função da relação entre a largura e a altura, b/h . No segundo caso é apresentado um quadro de dupla entrada que define as inércias dos perfis em função da altura da janela e da relação entre as dimensões do vão, b/h .

Para conseguir obter os modelos propostos foi necessário tomar alguns pressupostos, nomeadamente na distribuição dos esforços pela janela.

Enquanto que o dimensionamento considera uma distribuição de cargas uniformemente distribuída pelos perfis mais desfavoráveis, resultando em solicitações mais gravosas e consequentemente deformadas mais acentuadas, os modelos de carga considerados nesta análise estão definidos com base em áreas de influência triangulares e trapezoidais resultando em expressões para o cálculo das deformadas diferentes das utilizadas no processo de dimensionamento.

Para a definição das áreas atrás referidas foi utilizada a teoria de vigas. O método consiste em traçar as bissetrizes dos ângulos entre os perfis verticais e horizontais e prolongarem-se até se intersectarem. Para os perfis mais pequenos a área de influência tornam-se triangulares e para os perfis maiores tem uma forma trapezoidal, conforme ilustrado na figura 5.4.

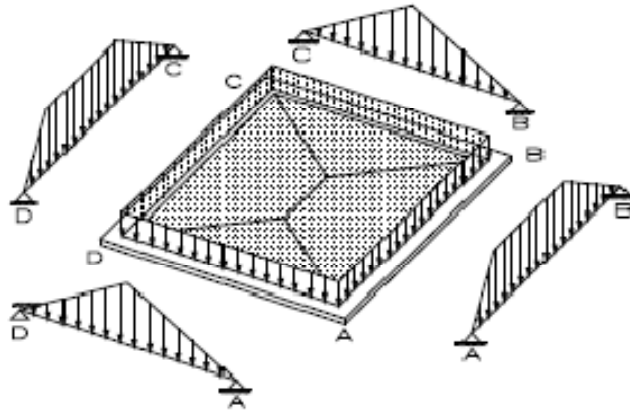


Fig. 5.4 – Distribuição de cargas com base em áreas de influência definidas a partir da teoria de vigas [74]

No entanto, o carregamento sugerido pelo processo de dimensionamento ao impor carregamentos mais severos e deformadas superiores está pelo lado da segurança. Para os perfis com área de influência trapezoidal foi utilizada a expressão da carga para cargas uniformemente distribuídas

$$\delta = \frac{5 \cdot P \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (5.1)$$

Para os perfis em que a distribuição de cargas é triangular a deformada é determinada segundo a expressão 5.2, diminuindo assim as solicitações na barra e obtendo um dimensionamento mais rigoroso, diminuindo assim o sobredimensionamento.

$$\delta = \frac{P \cdot l^4}{120 \cdot E \cdot I} \quad (5.2)$$

Foi calculado um coeficiente, $c=5/3,2$, que permite passar da expressão da deformada para cargas triangulares para a expressão de cálculo para cargas trapezoidais. Se a relação entre a largura e a altura for inferior a 1,0, os perfis verticais da janela são solicitados por uma carga trapezoidal enquanto que os perfis horizontais são solicitados por cargas triangulares. Se a mesma relação for superior a 1,0 verifica-se o inverso. Caso a largura seja igual à altura, existe uma distribuição equivalente dos esforços ao longo dos perfis e são todos solicitados por cargas triangulares.

O tipo de envidraçado também influencia os resultados. Se estivermos a tratar de envidraçados simples obtemos deformadas maiores, $L/150$ ou 15 mm, enquanto que para vidros duplos ou triplos a deformada passa a estar mais limitada, $L/200$ e 11 mm. Como a maioria das janelas aplicadas actualmente são constituídas por mais do que um envidraçado e que este tipo de janelas impõe deformadas mais restritivas, optou-se por considerar a limitação imposta pelo segundo tipo, garantindo também as deformadas para janelas com vidro simples.

Partindo destas considerações, chegou-se a uma expressão que relaciona a pressão aplicada, a altura da janela e os limites de deformação, expressão 5.3 ou 5.4 caso se trate de distribuições trapezoidais ou triangulares, respectivamente.

$$I = \frac{1000 \cdot P \cdot L^3}{384 \cdot E} \quad (5.3)$$

$$I = \frac{200 \cdot P \cdot l^3}{120 \cdot E} \quad (5.4)$$

Onde I é a inércia em m^4 , P é o valor máximo da carga distribuída pelo perfil e E o módulo de elasticidade do alumínio.

O primeiro modelo aqui apresentado, figura 5.5, faz variar as inércias do perfil para as diferentes classes de pressão em função da relação entre a largura e a altura da janela, b/h , sendo necessário fixar uma das dimensões do vão.

A título de exemplo, a figura 5.4 retrata o dimensionamento de janelas com 2 m de altura para as diversas relações entre a largura e a altura, para as diferentes classes de pressão.

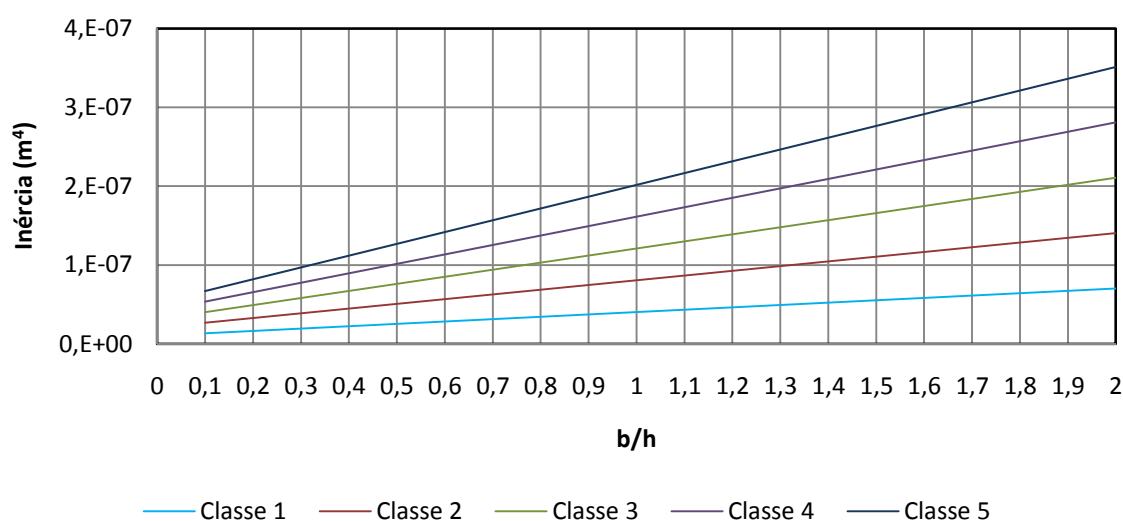


Fig. 5.5 – Inércia dos perfis em função da relação entre a largura e a altura, b/h , para as diferentes classes de pressão, para uma janela com 2 m de altura

O segundo modelo consiste numa tabela de dupla entrada onde se obtém a inércia do perfil a partir da altura da janela e da relação entre a largura e a altura, b/h , para uma determinada pressão. No Anexo B são apresentados os quadros de dupla entrada para dimensionamento de acordo com as diferentes classes de pressão.

6

CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES GERAIS

Com este trabalho pretendeu-se estudar as caixilharias, no âmbito da modelação estrutural através da comparação entre resultados obtidos em laboratório e modelos realizados com a ajuda de software informático, e perceber quais os principais problemas e dificuldades encontrados no processo de modelação.

A grande variedade de tipos de abertura de janelas, associada aos diversos materiais que as podem constituir, faz com que as caixilharias tenham uma diversidade enorme, tornando a escolha uma tarefa muito complexa. Neste processo é preciso uma atenção especial à maneira como o elemento escolhido consegue cumprir as exigências associadas a caixilharias, nomeadamente: a questão da permeabilidade ao ar, estanquidade à água e resistência ao vento.

O processo de dimensionamento actual é feito com base em considerações muito simplistas, ao assumir que a distribuição das cargas nos perfis mais desfavoráveis se faça de maneira contínua e uniforme. Este facto está pelo lado da segurança, conferindo aos perfis mais desfavoráveis, carregamentos mais severos e, consequentemente, maiores deformadas.

Desde cedo que se percebeu que os tipos de janelas constituem um entrave à realização de modelos. A grande diversidade dos tipos de janelas aumenta a dificuldade em criar modelos que sejam comuns e que sirvam para vários exemplares. Além deste facto, as dimensões das caixilharias variam muito em função do vão, não havendo relações entre as dimensões das janelas pré-definidas que permitam um maior controlo deste aspecto. Diferentes dimensões implicam uma distribuição de esforços desigual e, consequentemente, uma disposição e número de acessórios estruturais diferente.

Com base nos modelos realizados podemos ver que, se considerarmos modelos simplistas de dimensionamento com base em cargas trapezoidais distribuídas pelos perfis mais desfavoráveis, as deformadas obtidas situam-se, de maneira geral, acima do valor real. Por outro lado, a partir de modelos mais complexos, onde se entra com a ligação entre perfis e com a influência do vidro, as deformadas desses perfis revelaram-se inferiores ao valor obtido com os ensaios. Tais factos evidenciam a contribuição do vidro e da ligação entre perfis na rigidez da janela.

Com base no estudo feito em relação à ligação entre perfis verticais e horizontais, podemos concluir que a rigidez da ligação tem influência nos resultados das deformadas das janelas. No entanto, com o número de casos analisados e uma vez que os coeficientes parciais de rigidez variam tanto, não se conseguem obter tendências para este factor que permitam justificar um valor concreto.

Por outro lado, podemos ver que os resultados obtidos com a modelação com base em distribuições trapezoidais e triangulares se aproximam dos resultados considerando o vidro no modelo. Uma vez que o apoio escolhido para representar a ligação entre o vidro e os perfis não permite transferir a resistência do vidro para os perfis, este acaba por estar apenas a repartir os esforços aplicados segundo a geometria da janela e segundo os apoios considerados.

6.2. DIFICULDADES SENTIDAS

O processo de modelação levantou algumas questões, nomeadamente ao nível da definição dos elementos estruturais dos perfis. Estes perfis podem revelar-se muito complexos, principalmente quando temos caixilharias com corte térmico. De maneira a simplificar os modelos, acessórios como cortes térmicos, bites, e borrachas de vedação e de batente não foram considerados, embora contribuam para a rigidez dos perfis. A acrescentar às dificuldades narradas, acrescenta-se o facto de, nos cortes dos perfis, não se conseguir descobrir como é feita a ligação entre os componentes estruturais.

Outro aspecto que dificulta a obtenção de resultados e que é difícil de contabilizar, é a rigidez da ligação entre o vidro e os perfis de alumínio. Esta ligação é feita através de borrachas que têm uma rigidez diferente da do alumínio e resultam numa distribuição de esforços diferente.

Relativamente aos resultados obtidos, seriam necessários mais ensaios para comparar os dados e obter resultados com maior significado e descobrir tendências no comportamento destes.

6.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

De maneira a perceber a aperfeiçoar o estudo aqui elaborado, deixam-se algumas considerações de maneira a torná-lo mais correcto.

A questão da rigidez da ligação entre perfis parece ser uma questão que influencia muito o comportamento estrutural das caixilharias sob a acção do vento e, portanto, merece ser alvo de um estudo mais aprofundado. A rigidez da ligação entre o vidro e os perfis também pode ser muito mais aprofundada de maneira a perceber quais as diferenças que esta ligação traz para a estrutura.

Outra questão que pode ser analisada é a interacção entre perfis centrais nas janelas com mais que uma folha. Neste aspecto as caixilharias podem ser divididas em dois tipos. Estes podem estar colocados no mesmo plano, lado a lado, ou podem estar em planos paralelos e actuar no mesmo alinhamento, como por exemplo, janelas de correr. Quando submetidos a pressões, estas configurações têm interacções diferentes que levam a comportamentos diferentes.

Com estes estudos sugere-se que se chegue a coeficientes que traduzam estes efeitos em todas as caixilharias ou para determinado tipo de caixilharia, que permita elaborar e otimizar o processo de dimensionamento e chegar a valores mais correctos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://tvitel.pt/fjpc/Gestinova/Caixilharia.pdf>, Junho de 2010
- [2] NP EN 12519:2008 – Janelas e portas pedonais – Vocabulário, Maio, 2008
- [3] <http://www.alusistem.com.br/ALU-BIBLIOTECA.html>, Junho de 2010
- [4] <http://www.eps.ufsc.br/disserta96/santiago/index/index.htm>, 15 de Junho de 2010
- [5] Giacomini, E., Sousa, H., *Caixilharias Exteriores para Edifícios – Contributo para a melhoria da sua especificação*, Congresso Construção 2007 – 3º Congresso Nacional, 17 a 19 de Dezembro, Coimbra, Portugal
- [6] Giacomini, E., *Caixilharias Exteriores para Edifícios – Contributo para a melhoria da sua especificação*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007
- [7] <http://www.thermotechfiberglass.com/FiberglassFacts.htm>, Maio de 2010
- [8] <http://www.thathomesite.com/forums/load/windows/msg120838161005.html?2>, Maio de 2010
- [9] Martins, J. G., Pinto, E. L., *Materiais de construção I – O vidro*, 2004
- [10] *Manual do vidro*, Saint Gobain, 2000
- [11] <http://www.mspc.eng.br/ciemat/cm210.shtml>, Maio de 2010
- [12] http://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/mce04009_Caixilharias_de_aluminio.pdf, Maio de 2010
- [13] EN 1991-1-4: *Eurocódigo 1 – Acções em estruturas Parte 1-4: Acções gerais, Acções do vento*
- [14] EN 12211:2000 - *Windows and doors. Resistance to wind load. Test method*
- [15] EN 12210: 2000 - *Windows and doors. Resistance to wind load. Classification*
- [16] EN 12179: 2000 - *Curtain walling. Resistance to wind load. Test method*
- [17] EN 13049: 2003 - *Windows. Soft and heavy body impact. Test method, safety requirements and classification*
- [18] EN 12150-2: 2004 - *Vidro na construção. Vidro de segurança de silicato sodo cálcico temperado termicamente. Parte 2: Avaliação da conformidade /Norma de produto*
- [19] EN ISO 12543-2:1998 - *Glass in building. Laminated glass and laminated safety glass. Part 2: Laminated safety glass*
- [20] EN 356: 2000 - *Glass in building. Security glazing. Testing and classification of resistance against manual attack*
- [21] EN 1063: 1999 - *Glass in building. Security glazing. Testing and classification of resistance against bullet attack.*
- [22] EN 14351-1: 2008 - *Janelas e portas. Norma de produto, características de desempenho. Parte 1: Janelas e portas pedonais exteriores sem características de resistência ao fogo e/ou de estanquidade ao fumo.*
- [23] EN 14608: 2004 - *Windows. Determination of the resistance to racking.*
- [24] EN 14609: 2004 - *Windows. Determination of the resistance to static torsion*

- [25] EN 12046-1: 2003 - *Operating forces – Test method – Part 1: Windows*
- [26] EN 13115: 2001 - *Windows. Classification of mechanical properties. Racking, torsion and operating forces*
- [27] EN 947: 1998 - *Hinged or pivoted doors. Determination of the resistance to vertical load*
- [28] EN 948: 1999 - *Hinged or pivoted doors. Determination of the resistance to static torsion*
- [29] EN 949: 1999 - *Windows and curtain walling, doors, blinds and shutters – Determination of the resistance to soft and heavy body impact for doors*
- [30] EN 950: 1999 - *Door leaves. Determination of the resistance to hard body impact*
- [31] EN 1192: 1999 - *Doors – Classification of strength requirements*
- [32] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:133:0026:0032:PT:PDF>, Maio de 2010
- [33] EN 13501-2:2007 - *Fire classification of construction products and building elements. Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services*
- [34] Santos, C., *A Classificação Europeia da Reacção ao Fogo dos Produtos de Construção*, 71, LNEC, Lisboa, 2009
- [35] EN 13501-1:2007 - *Fire classification of construction products and building elements. Part 1: Classification using data from reaction to fire tests*
- [36] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:050:0014:0018:PT:PDF>, Maio de 2010
- [37] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:220:0005:0006:PT:PDF>, Maio de 2010
- [38] EN 12046-2: 2000 - *Operating forces. Test method. Part 2: Doors*
- [39] EN 12217: 2003 - *Doors. Operating forces. Requirements and classification*
- [40] EN 1191: 2000 - *Windows and doors. Resistance to repeat opening and closing. Test method*
- [41] ENV 1627:1999 - *Windows, doors, shutters – Burglar resistance – Requirements and classification*
- [42] http://www.andiv.com.br/vidro_anti_vandalismo.asp, Maio de 2010
- [43] ENV 1628: 1999 - *Windows, doors, shutters – Burglar resistance – Test method for the determination of resistance under static loading*
- [44] ENV 1629: 1999 - *Windows, doors, shutters – Burglar resistance – Test method for the determination of resistance under dynamic loading*
- [45] ENV 1630: 1999 - *Windows, doors, shutters – Burglar resistance – Test method for the determination of resistance to manual burglary attempts*
- [46] http://www.autover.pt/pt_PT/content/232/0/258/Vidros+Blindados.html, Maio de 2010
- [47] http://www.andiv.com.br/vidro_resistente-a-bala.asp (imagem), Maio de 2010
- [48] EN 1523: 1998 - *Windows, doors, shutters and blinds. Bullet resistance. Test method.*

- [49] EN 1522: 1998 - *Windows, doors, shutters and blinds. Bullet resistance. Requirements and classification.*
- [50] http://www.vitro.com/vitro_chaves/multipact2.htm, Maio de 2010
- [51] EN 13124-1:2001 - *Windows, doors and shutters. Explosion resistance - Test method. Part 1: Shock tube.*
- [52] EN 13123-1: 2001 - *Windows, doors and shutters. Explosion resistance - Requirements and classification. Part 1: Shock tube.*
- [53] EN 13124-2:2004 - *Windows, doors and shutters. Explosion resistance - Test method. Part 2: Range test.*
- [54] EN 13123-2: 2004 - *Windows, doors, and shutters. Explosion resistance -Requirements and classification. Part 2: Range test.*
- [55] Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril
- [56] EN 1026: 2000 – *Windows and doors. Air permeability. Test method*
- [57] EN 1027: 2000 - *Windows and doors. Air permeability. Classification*
- [58] EN 12153: 2000 - *Curtain walling. Air permeability. Test method.*
- [59] EN 12152:2002 - *Curtain walling. Air permeability. Performance requirements and classification*
- [60] Mimoso, J.M., *Estanquidade à Chuva de Caixilharias de Alumínio*, LNEC, Lisboa, 2000
- [61] EN ISO 1077-1:2006 - *Thermal performance of windows, doors and shutters. Calculation of thermal transmittance. Part 1: General (ISO10077-1:2006)*
- [62] EN ISO 12567-1:2000 - *Thermal performance of windows and doors. Determination of thermal transmittance by hot box method. Part 1:Complete windows and doors (ISO 12567-1:2000)*
- [63] EN ISO 12567-2:2005 - *Thermal performance of windows and doors. Determination of thermal transmittance by hot box method. Part 2: Roof windows and other projecting windows (ISO 12567-2:2005)*
- [64] prEN 13947:2006 - *Thermal performance of curtain walling. Calculation of thermal transmittance.*
- [65] EN 410:2000 – *Vidro na construção: Determinação das características luminosas e solares dos envidraçados*
- [66] NP 1037-1:2002 – *Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás: Edifícios de habitação, Ventilação Natural*
- [67] Apontamentos das aulas teóricas da disciplina de Patologia e Reabilitação de Edifícios, do ramo de Construções, 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Civil
- [68] NP 1037-2: 2009 - *Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 2: Edifícios de habitação. Ventilação mecânica centralizada (VMC) de fluxo simples.*
- [69] EN 13141-1: 2006 - *Ventilação de edifícios. Ensaios de desempenho dos componentes/produtos para ventilação de edifícios de habitação. Parte 1: Dispositivos de passagem de ar montados no exterior e no interior*

- [70] http://pt.saint-obainglass.com/upload/files/3.1.6_o_vidro_e_o_isolamento_ac_stico.pdf, Junho de 2010
- [71] EN 717-1: *Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção, Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea*, Junho, 2009
- [72] EN ISO 140-3: 1995 - *Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements (ISO 140-3:1995)*.
- [73] Castro, M., Sousa, H., Sousa, R., *Caracterização experimental de caixilhos em laboratório*, Congresso de Construção 2007 – 3º Congresso Nacional, 17 a 19 de Dezembro, Coimbra, Portugal
- [74] Viegas, J.C., *Componentes de edifícios: Selecção de caixilharias e seu dimensionamento mecânico*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2006
- [75] NP EN 1990: 2009 - *Eurocódigo - Bases para o projecto de estruturas*.
- [76] <http://www.hydro.com.pt/Subsites/Portalex/Produtos/Excelencia-na-extrusao/Propriedades-do-aluminio/>, Maio de 2010
- [77] http://pt.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_Poisson, Maio de 2010

ANEXOS

ANEXO A: COEFICIENTES DE PRESSÃO EXTERIOR PARA FACHADAS E COBERTURAS DE EDIFÍCIOS.....	3
---	----------

ANEXO B: TABELAS DE DIMENSIONAMENTO PARA AS DIFERENTES CLASSES DE CAIXILHARIAS.....	13
--	-----------

ANEXO A: COEFICIENTES DE PRESSÃO EXTERIOR PARA FACHADAS E COBERTURAS DE EDIFÍCIOS

-Coeficientes de pressão externa para fachadas verticais

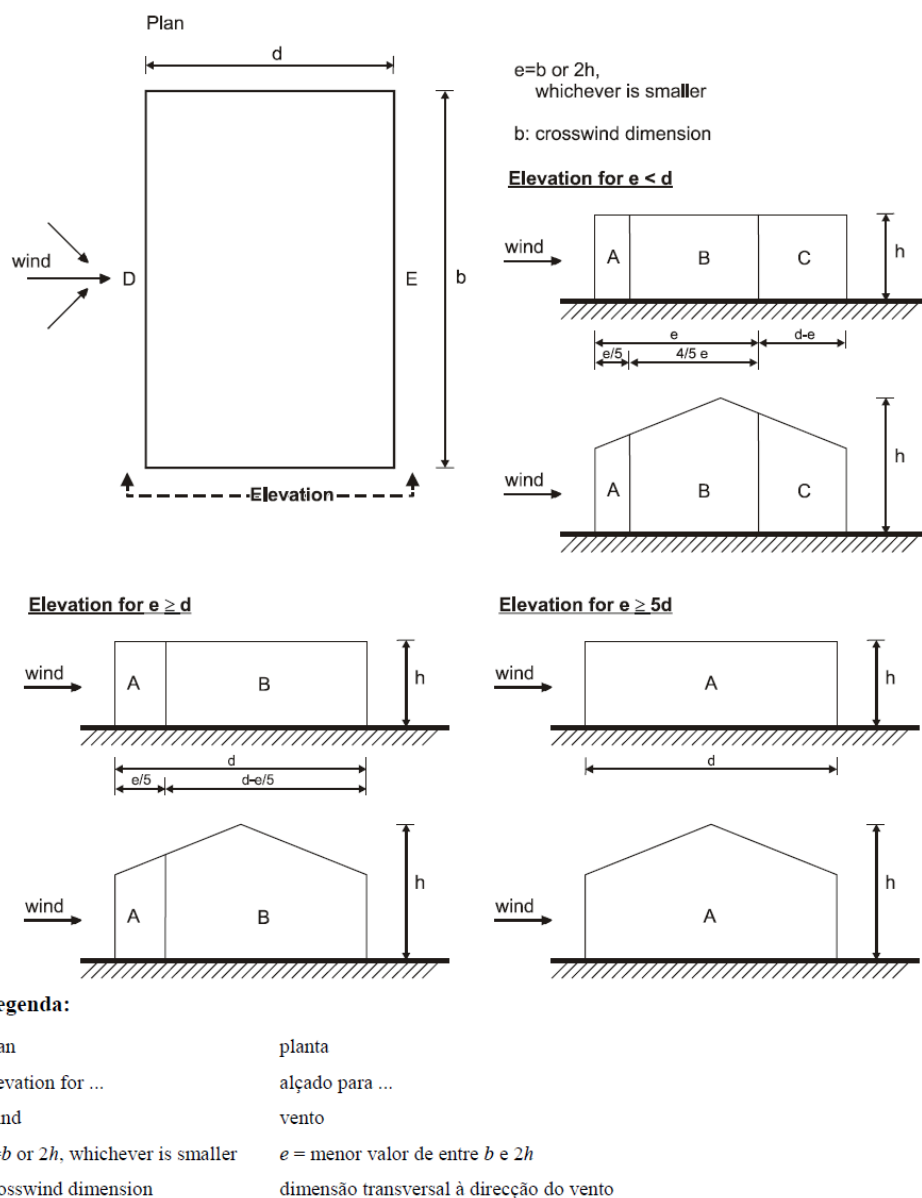
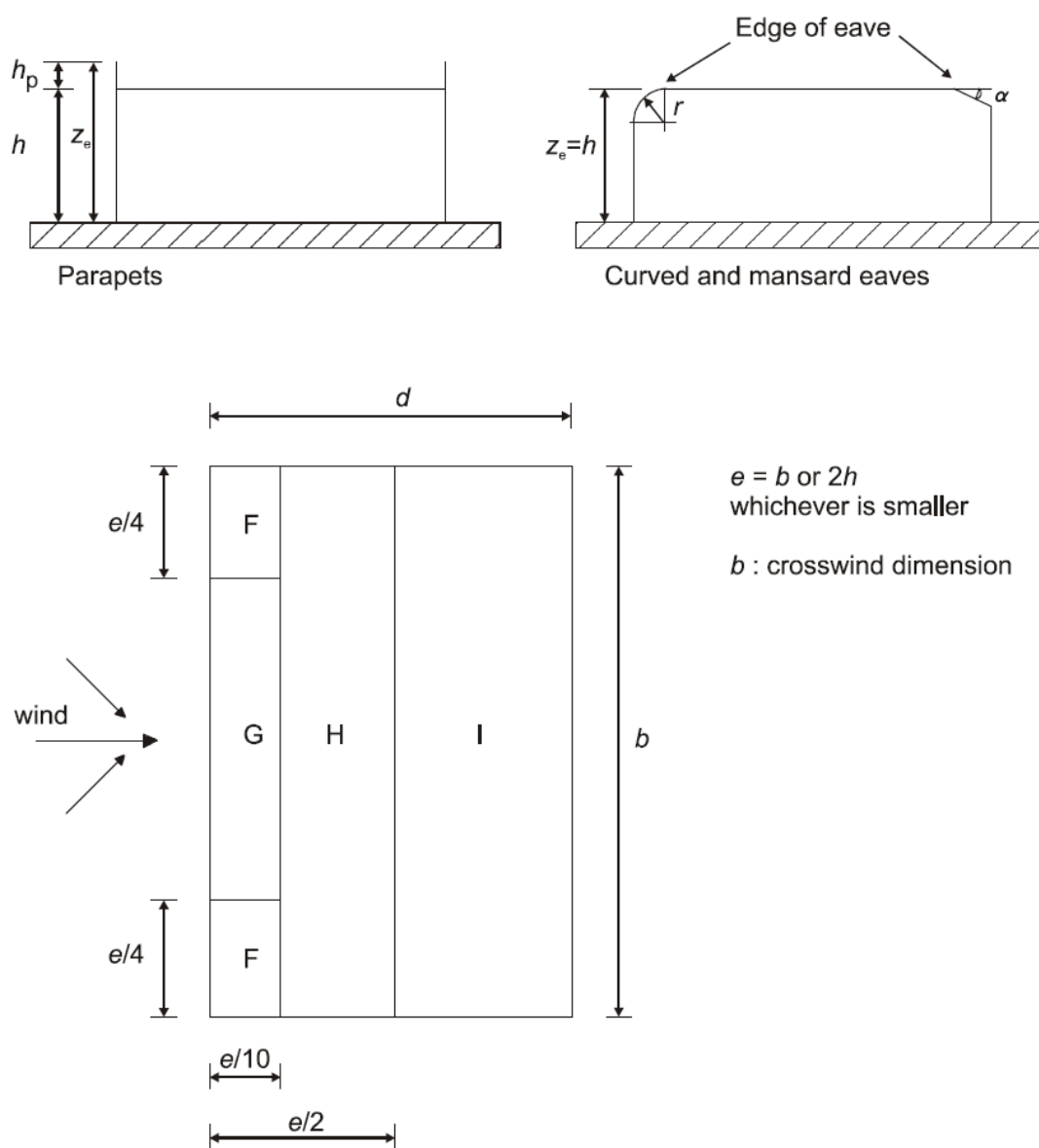


Fig. 1 – Zonas em paredes verticais

Quadro 1 – Valores recomendados dos coeficientes de pressão exterior para paredes verticais de edifício sde planta regular

<i>Zona</i>	<i>A</i>		<i>B</i>		<i>C</i>		<i>D</i>		<i>E</i>	
<i>h/d</i>	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

- Coeficientes de pressão exterior para coberturas planas



Legenda:

parapets

edge of eave

curved and mansard eaves

$e=b$ or $2h$, whichever is smaller

crosswind dimension

platibandas

topo do bordo

bordos arredondados ou amansardados

e = menor valor de entre b e $2h$

dimensão transversal à direcção do vento

Fig. 2 – Zonas em coberturas em terraço

Quadro 2 – Coeficientes de pressão exterior para coberturas planas

Tipo de cobertura		Zona							
		F		G		H		I	
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Bordos em aresta viva		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
Com platibanda	$h_p/h=0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
	$h_p/h=0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
	$h_p/h=0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
Bordos arredondados	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+0,2	
								-0,2	
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0,2	
								-0,2	
	$r/h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+0,2	
								-0,2	
Bordos amansardados	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		+0,2	
								-0,2	
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		+0,2	
								-0,2	
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		+0,2	
								-0,2	

NOTA 1: Para coberturas com platibandas ou com bordos arredondados, poderá ser efectuada uma interpolação linear para valores intermédios de h_p/h e de r/h .

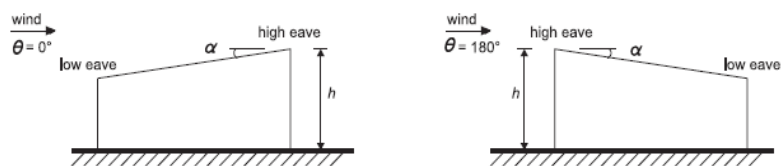
NOTA 2: Para coberturas com bordos amansardados, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre $\alpha = 30^\circ$, $\alpha = 45^\circ$ e $\alpha = 60^\circ$. Para $\alpha > 60^\circ$, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre os valores para $\alpha = 60^\circ$ e os valores para coberturas em terraço com bordos em aresta viva.

NOTA 3: Na Zona I, para a qual são fornecidos valores positivos e negativos, devem ser considerados ambos os valores.

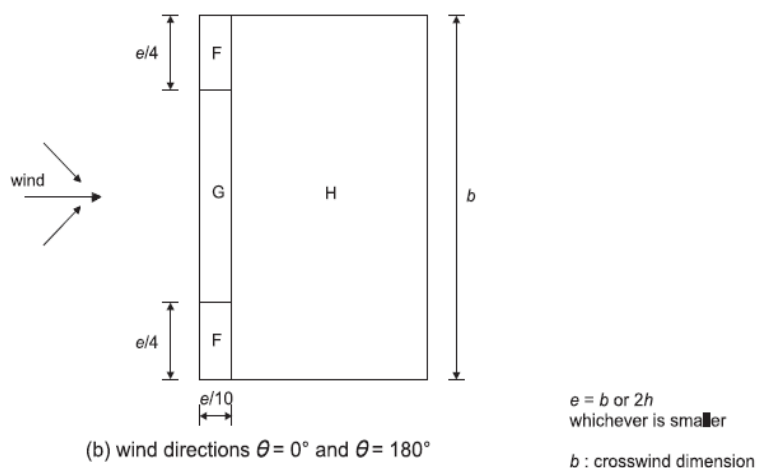
NOTA 4: Para o bordo amansardado propriamente dito, os coeficientes de pressão exterior são fornecidos no Quadro 7.4a "Coeficientes de pressão exterior para coberturas de duas vertentes: direcção do vento 0", Zonas F e G, em função da inclinação do bordo.

NOTA 5: Para o bordo arredondado propriamente dito, os coeficientes de pressão exterior são calculados, ao longo do bordo, por interpolação linear entre os valores relativos à parede e à cobertura.

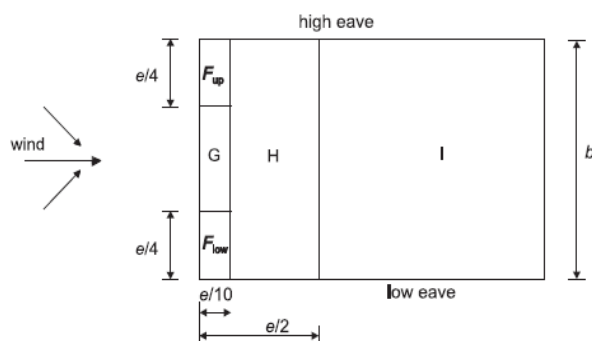
-Coeficientes de pressão externa para coberturas inclinadas com uma água



(a) general



(b) wind directions $\theta = 0^\circ$ and $\theta = 180^\circ$



(c) wind direction $\theta = 90^\circ$

Legenda:

wind	vento
high eave	bordo superior
low eave	bordo inferior
general	geral
wind directions $\theta = 0^\circ$ e $\theta = 180^\circ$	direcções do vento $\theta = 0^\circ$ e $\theta = 180^\circ$
wind direction $\theta = 90^\circ$	direcção do vento $\theta = 90^\circ$
$e = b$ or $2h$, whichever is smaller	$e =$ menor valor de entre b e $2h$
crosswind dimension	dimensão transversal à direcção do vento

Fig. 3 – Zonas para coberturas inclinadas com uma água

Quadro 3 – Coeficientes de pressão exterior para coberturas com uma água

Ângulo de inclinação α	Zona; Direcção do vento $\theta=0^{\circ}$						Zona; Direcção do vento $\theta=180^{\circ}$					
	F		G		H		F		G		H	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0							
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+ 0,2							
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	
	+0,7		+0,7		+0,4							
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
	+0,7		+0,7		+0,6							
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

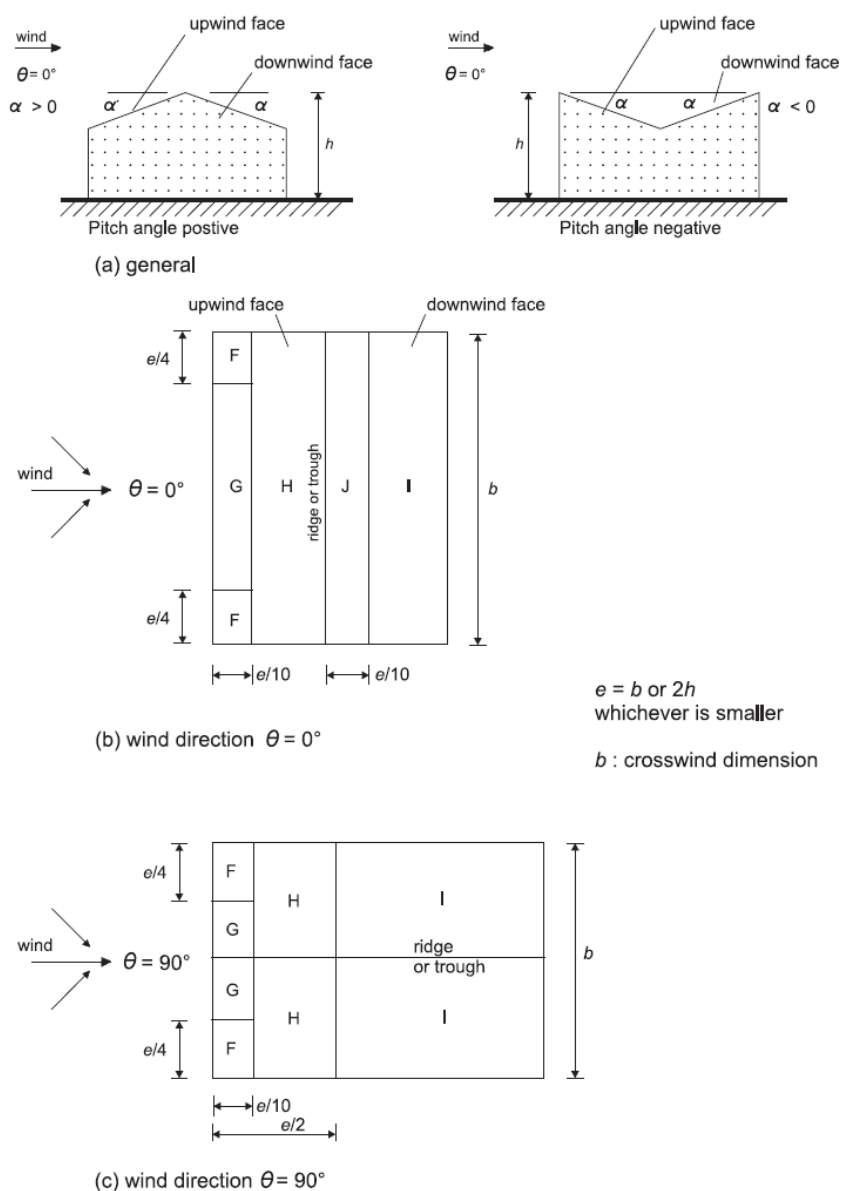
Quadro 4 – Coeficientes de pressão exterior para coberturas com uma água (continuação)

Ângulo de inclinação α	Zona: Direcção do vento $\theta = 90^\circ$									
	F_{up}		F_{low}		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-2,1	-2,6	-2,1	-2,4	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
15°	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
30°	-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
45°	-1,5	-2,4	-1,3	-2,0	-1,4	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
60°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,5	

NOTA 1: Com $\theta = 0^\circ$ (ver o Quadro a)), a pressão varia rapidamente entre valores positivos e negativos para inclinações entre $\alpha = +5^\circ$ e $\alpha = +45^\circ$, razão pela qual são fornecidos valores positivos e negativos. Para estas coberturas deverão ser considerados dois casos: um com todos os valores positivos e um outro com todos os valores negativos. Não é permitida a mistura, numa mesma vertente, de valores positivos com valores negativos.

NOTA 2: Para ângulos intermédios de inclinação da vertente, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre valores com o mesmo sinal. Os valores iguais a 0,0 são fornecidos para efeitos de interpolação.

-Coeficientes de pressão externa para coberturas inclinadas com duas águas



Legenda:

wind	vento	general	geral
upwind face	vertente de barlavento	wind direction $\theta = 0^\circ$	direcção do vento $\theta = 0^\circ$
downwind face	vertente de sotavento	wind direction $\theta = 90^\circ$	direcção do vento $\theta = 90^\circ$
pitch angle positive	ângulo de inclinação positivo	$e = b \text{ or } 2h$, whichever is smaller	$e = \text{menor valor de entre } b \text{ e } 2h$
pitch angle negative	ângulo de inclinação negativo	crosswind dimension	dimensão transversal à direcção do vento
ridge or trough	cumeeira ou revesa		

Fig. 4 – Zonas para coberturas inclinadas com duas águas

Quadro 5 – Coeficientes de pressão exterior para coberturas inclinadas com duas águas

Ângulo de inclinação α	Zona; Direcção do vento $\theta=0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

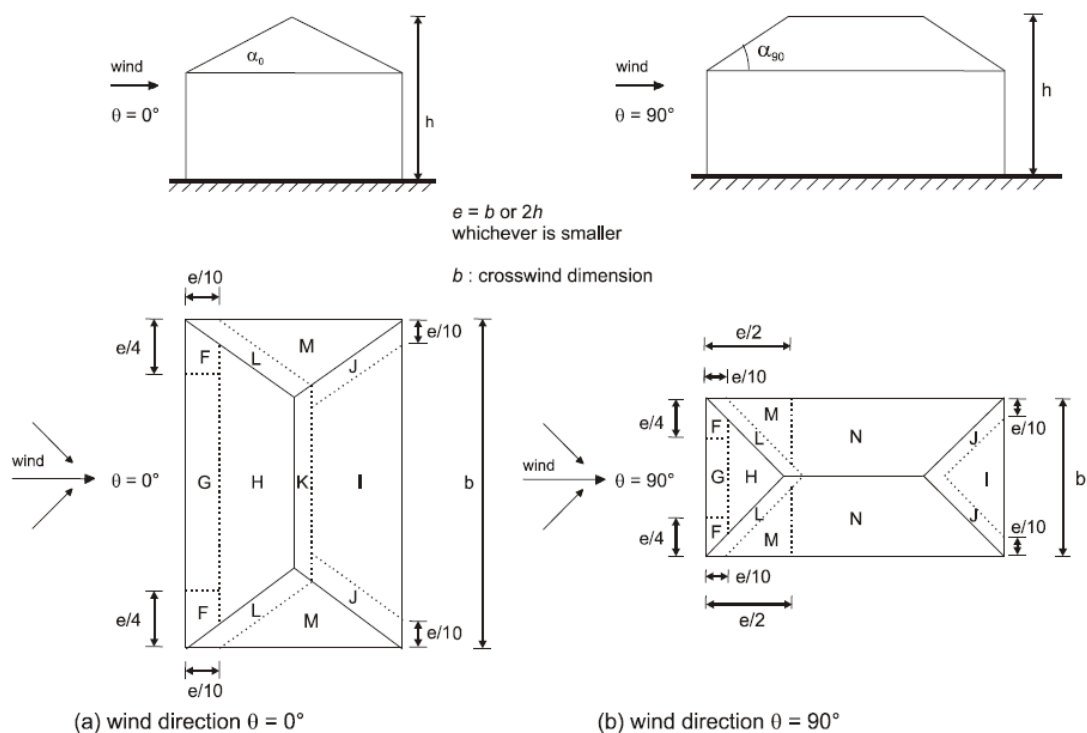
NOTA 1 : Com $\theta = 0^\circ$ e para inclinações entre $\alpha = -5^\circ$ e $\alpha = +45^\circ$, a pressão varia rapidamente entre valores positivos e negativos na vertente virada a barlavento, razão pela qual são fornecidos valores positivos e negativos. Para estas coberturas deverão ser considerados quatro casos, em que os valores maiores ou menores em todas as áreas F, G e H são combinados com os valores maiores ou menores nas áreas I e J. Não é permitida a mistura, numa mesma vertente, de valores positivos com valores negativos.

NOTA 2: Para ângulos de inclinação intermédios entre ângulos com o mesmo sinal, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre valores com o mesmo sinal. (Não efectuar interpolação entre $\alpha = +5^\circ$ e $\alpha = -5^\circ$, mas antes utilizar os valores relativos às coberturas em terraço indicados em 7.2.3). Os valores iguais a 0,0 são fornecidos para efeitos de interpolação.

Quadro 6 – Coeficientes de pressão exterior para coberturas inclinadas com duas águas (continuação)

Ângulo de inclinação α	Zona; Direcção do vento $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

-Coeficientes de pressão externa para coberturas inclinadas com quatro águas



Legenda:

wind

wind direction $\theta = 0^\circ$

wind direction $\theta = 90^\circ$

$e = b$ or $2h$, whichever is smaller

crosswind dimension

vento

direcção do vento $\theta = 0^\circ$

direcção do vento $\theta = 90^\circ$

$e =$ menor valor de entre b e $2h$

dimensão transversal à direcção do vento

Fig. 5 – Zonas para coberturas inclinadas com quatro águas

Quadro 7 – Coeficientes de pressão exterior para coberturas inclinadas de quatro águas

Ângulo de inclinação	Zona; Direcção do vento $\theta = 0^\circ$ e $\theta = 90^\circ$																	
	F		G		H		I		J		K		L		M		N	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3		-0,6		-0,6		-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,4	
	+0,0		+0,0		+0,0													
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,5		-1,0	-1,5	-1,2	-2,0	-1,4	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3	
	+0,2		+0,2		+0,2													
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,7	-1,2	-0,5		-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2	
	+0,5		+0,7		+0,4													
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,3		-0,6		-0,3		-1,3	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2	
	+0,7		+0,7		+0,6													
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	

NOTA 1: Com $\theta = 0^\circ$ e para inclinações entre $\alpha = +5^\circ$ e $\alpha = +45^\circ$, a pressão varia rapidamente entre valores positivos e negativos na vertente virada a barlavento, razão pela qual são fornecidos valores positivos e negativos. Para estas coberturas deverão ser considerados dois casos: um com todos os valores positivos e um outro com todos os valores negativos. Não é permitida a mistura de valores positivos com valores negativos.

NOTA 2: Para ângulos intermédios de inclinação da vertente, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre valores com o mesmo sinal. Os valores iguais a 0,0 são fornecidos para efeitos de interpolação.

NOTA 3: Os valores dos coeficientes de pressão são sempre regidos pela inclinação da vertente virada a barlavento.

ANEXO B: TABELAS DE DIMENSIONAMENTO PARA AS DIFERENTES CLASSES DE CAIXILHARIAS

Quadro 1 – Tabela de dimensionamento para caixilharias de classe 1, 400 Pa

		b/h																			
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
h	1	3,5E-10	6,9E-10	1,0E-09	1,4E-09	1,7E-09	2,1E-09	2,4E-09	2,8E-09	3,1E-09	2,2E-09	2,4E-09	2,7E-09	2,9E-09	3,1E-09	3,3E-09	3,6E-09	3,8E-09	4,0E-09	4,2E-09	4,4E-09
	1,1	5,1E-10	1,0E-09	1,5E-09	2,0E-09	2,5E-09	3,1E-09	3,6E-09	4,1E-09	4,6E-09	3,3E-09	3,6E-09	3,9E-09	4,2E-09	4,6E-09	4,9E-09	5,2E-09	5,5E-09	5,9E-09	6,2E-09	6,5E-09
	1,2	7,2E-10	1,4E-09	2,2E-09	2,9E-09	3,6E-09	4,3E-09	5,0E-09	5,8E-09	6,5E-09	4,6E-09	5,1E-09	5,5E-09	6,0E-09	6,5E-09	6,9E-09	7,4E-09	7,8E-09	8,3E-09	8,8E-09	9,2E-09
	1,3	9,9E-10	2,0E-09	3,0E-09	4,0E-09	5,0E-09	6,0E-09	6,9E-09	7,9E-09	8,9E-09	6,3E-09	7,0E-09	7,6E-09	8,3E-09	8,9E-09	9,5E-09	1,0E-08	1,1E-08	1,1E-08	1,2E-08	1,3E-08
	1,4	1,3E-09	2,7E-09	4,0E-09	5,3E-09	6,7E-09	8,0E-09	9,3E-09	1,1E-08	1,2E-08	8,5E-09	9,4E-09	1,0E-08	1,1E-08	1,2E-08	1,3E-08	1,4E-08	1,5E-08	1,5E-08	1,6E-08	1,7E-08
	1,5	1,8E-09	3,5E-09	5,3E-09	7,0E-09	8,8E-09	1,1E-08	1,2E-08	1,4E-08	1,6E-08	1,1E-08	1,2E-08	1,4E-08	1,5E-08	1,6E-08	1,7E-08	1,8E-08	1,9E-08	2,0E-08	2,1E-08	2,3E-08
	1,6	2,3E-09	4,6E-09	6,8E-09	9,1E-09	1,1E-08	1,4E-08	1,6E-08	1,8E-08	2,0E-08	1,5E-08	1,6E-08	1,7E-08	1,9E-08	2,0E-08	2,2E-08	2,3E-08	2,5E-08	2,6E-08	2,8E-08	2,9E-08
	1,7	2,9E-09	5,8E-09	8,7E-09	1,2E-08	1,5E-08	1,7E-08	2,0E-08	2,3E-08	2,6E-08	1,9E-08	2,0E-08	2,2E-08	2,4E-08	2,6E-08	2,8E-08	3,0E-08	3,2E-08	3,3E-08	3,5E-08	3,7E-08
	1,8	3,6E-09	7,3E-09	1,1E-08	1,5E-08	1,8E-08	2,2E-08	2,6E-08	2,9E-08	3,3E-08	2,3E-08	2,6E-08	2,8E-08	3,0E-08	3,3E-08	3,5E-08	3,7E-08	4,0E-08	4,2E-08	4,4E-08	4,7E-08
	1,9	4,5E-09	9,1E-09	1,4E-08	1,8E-08	2,3E-08	2,7E-08	3,2E-08	3,6E-08	4,1E-08	2,9E-08	3,2E-08	3,5E-08	3,8E-08	4,1E-08	4,3E-08	4,6E-08	4,9E-08	5,2E-08	5,5E-08	5,8E-08
	2	5,6E-09	1,1E-08	1,7E-08	2,2E-08	2,8E-08	3,3E-08	3,9E-08	4,4E-08	5,0E-08	3,6E-08	3,9E-08	4,3E-08	4,6E-08	5,0E-08	5,3E-08	5,7E-08	6,0E-08	6,4E-08	6,8E-08	7,1E-08
	2,1	6,8E-09	1,4E-08	2,0E-08	2,7E-08	3,4E-08	4,1E-08	4,7E-08	5,4E-08	6,1E-08	4,3E-08	4,8E-08	5,2E-08	5,6E-08	6,1E-08	6,5E-08	6,9E-08	7,3E-08	7,8E-08	8,2E-08	8,6E-08
	2,2	8,1E-09	1,6E-08	2,4E-08	3,3E-08	4,1E-08	4,9E-08	5,7E-08	6,5E-08	7,3E-08	5,2E-08	5,7E-08	6,2E-08	6,8E-08	7,3E-08	7,8E-08	8,3E-08	8,8E-08	9,4E-08	9,9E-08	1,0E-07
	2,3	9,7E-09	1,9E-08	2,9E-08	3,9E-08	4,9E-08	5,8E-08	6,8E-08	7,8E-08	8,7E-08	6,2E-08	6,8E-08	7,5E-08	8,1E-08	8,7E-08	9,3E-08	9,9E-08	1,1E-07	1,1E-07	1,2E-07	1,2E-07
	2,4	1,2E-08	2,3E-08	3,5E-08	4,6E-08	5,8E-08	6,9E-08	8,1E-08	9,2E-08	1,0E-07	7,4E-08	8,1E-08	8,8E-08	9,6E-08	1,0E-07	1,1E-07	1,2E-07	1,3E-07	1,3E-07	1,4E-07	1,5E-07
	2,5	1,4E-08	2,7E-08	4,1E-08	5,4E-08	6,8E-08	8,1E-08	9,5E-08	1,1E-07	1,2E-07	8,7E-08	9,5E-08	1,0E-07	1,1E-07	1,2E-07	1,3E-07	1,4E-07	1,5E-07	1,6E-07	1,6E-07	1,7E-07
	2,6	1,6E-08	3,2E-08	4,8E-08	6,3E-08	7,9E-08	9,5E-08	1,1E-07	1,3E-07	1,4E-07	1,0E-07	1,1E-07	1,2E-07	1,3E-07	1,4E-07	1,5E-07	1,6E-07	1,7E-07	1,8E-07	1,9E-07	2,0E-07
	2,7	1,8E-08	3,7E-08	5,5E-08	7,4E-08	9,2E-08	1,1E-07	1,3E-07	1,5E-07	1,7E-07	1,2E-07	1,3E-07	1,4E-07	1,5E-07	1,7E-07	1,8E-07	1,9E-07	2,0E-07	2,1E-07	2,2E-07	2,4E-07
	2,8	2,1E-08	4,3E-08	6,4E-08	8,5E-08	1,1E-07	1,3E-07	1,5E-07	1,7E-07	1,9E-07	1,4E-07	1,5E-07	1,6E-07	1,8E-07	1,9E-07	2,0E-07	2,2E-07	2,3E-07	2,5E-07	2,6E-07	2,7E-07
	2,9	2,5E-08	4,9E-08	7,4E-08	9,8E-08	1,2E-07	1,5E-07	1,7E-07	2,0E-07	2,2E-07	1,6E-07	1,7E-07	1,9E-07	2,0E-07	2,2E-07	2,4E-07	2,5E-07	2,7E-07	2,8E-07	3,0E-07	3,1E-07
	3	2,8E-08	5,6E-08	8,4E-08	1,1E-07	1,4E-07	1,7E-07	2,0E-07	2,3E-07	2,5E-07	1,8E-07	2,0E-07	2,2E-07	2,3E-07	2,5E-07	2,7E-07	2,9E-07	3,1E-07	3,2E-07	3,4E-07	3,6E-07

Quadro 2 – Tabela de dimensionamento para caixilharias de classe 2, 800 Pa

		b/h																			
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
h	1	6,9E-10	1,4E-09	2,1E-09	2,8E-09	3,5E-09	4,2E-09	4,9E-09	5,6E-09	6,3E-09	4,4E-09	4,9E-09	5,3E-09	5,8E-09	6,2E-09	6,7E-09	7,1E-09	7,6E-09	8,0E-09	8,4E-09	8,9E-09
	1,1	1,0E-09	2,0E-09	3,1E-09	4,1E-09	5,1E-09	6,1E-09	7,1E-09	8,1E-09	9,2E-09	6,5E-09	7,2E-09	7,8E-09	8,5E-09	9,1E-09	9,8E-09	1,0E-08	1,1E-08	1,2E-08	1,2E-08	1,3E-08
	1,2	1,4E-09	2,9E-09	4,3E-09	5,8E-09	7,2E-09	8,6E-09	1,0E-08	1,2E-08	1,3E-08	9,2E-09	1,0E-08	1,1E-08	1,2E-08	1,3E-08	1,4E-08	1,5E-08	1,6E-08	1,7E-08	1,8E-08	1,8E-08
	1,3	2,0E-09	4,0E-09	6,0E-09	7,9E-09	9,9E-09	1,2E-08	1,4E-08	1,6E-08	1,8E-08	1,3E-08	1,4E-08	1,5E-08	1,7E-08	1,8E-08	1,9E-08	2,0E-08	2,2E-08	2,3E-08	2,4E-08	2,5E-08
	1,4	2,7E-09	5,3E-09	8,0E-09	1,1E-08	1,3E-08	1,6E-08	1,9E-08	2,1E-08	2,4E-08	1,7E-08	1,9E-08	2,0E-08	2,2E-08	2,4E-08	2,6E-08	2,7E-08	2,9E-08	3,1E-08	3,2E-08	3,4E-08
	1,5	3,5E-09	7,0E-09	1,1E-08	1,4E-08	1,8E-08	2,1E-08	2,5E-08	2,8E-08	3,2E-08	2,3E-08	2,5E-08	2,7E-08	2,9E-08	3,2E-08	3,4E-08	3,6E-08	3,8E-08	4,1E-08	4,3E-08	4,5E-08
	1,6	4,6E-09	9,1E-09	1,4E-08	1,8E-08	2,3E-08	2,7E-08	3,2E-08	3,6E-08	4,1E-08	2,9E-08	3,2E-08	3,5E-08	3,8E-08	4,1E-08	4,4E-08	4,7E-08	5,0E-08	5,2E-08	5,5E-08	5,8E-08
	1,7	5,8E-09	1,2E-08	1,7E-08	2,3E-08	2,9E-08	3,5E-08	4,1E-08	4,6E-08	5,2E-08	3,7E-08	4,1E-08	4,5E-08	4,8E-08	5,2E-08	5,6E-08	5,9E-08	6,3E-08	6,7E-08	7,1E-08	7,4E-08
	1,8	7,3E-09	1,5E-08	2,2E-08	2,9E-08	3,6E-08	4,4E-08	5,1E-08	5,8E-08	6,6E-08	4,7E-08	5,1E-08	5,6E-08	6,1E-08	6,5E-08	7,0E-08	7,5E-08	7,9E-08	8,4E-08	8,9E-08	9,3E-08
	1,9	9,1E-09	1,8E-08	2,7E-08	3,6E-08	4,5E-08	5,4E-08	6,3E-08	7,2E-08	8,1E-08	5,8E-08	6,4E-08	7,0E-08	7,5E-08	8,1E-08	8,7E-08	9,3E-08	9,8E-08	1,0E-07	1,1E-07	1,2E-07
	2	1,1E-08	2,2E-08	3,3E-08	4,4E-08	5,6E-08	6,7E-08	7,8E-08	8,9E-08	1,0E-07	7,1E-08	7,8E-08	8,5E-08	9,2E-08	1,0E-07	1,1E-07	1,1E-07	1,2E-07	1,3E-07	1,4E-07	1,4E-07
	2,1	1,4E-08	2,7E-08	4,1E-08	5,4E-08	6,8E-08	8,1E-08	9,5E-08	1,1E-07	1,2E-07	8,6E-08	9,5E-08	1,0E-07	1,1E-07	1,2E-07	1,3E-07	1,4E-07	1,5E-07	1,6E-07	1,6E-07	1,7E-07
	2,2	1,6E-08	3,3E-08	4,9E-08	6,5E-08	8,1E-08	9,8E-08	1,1E-07	1,3E-07	1,5E-07	1,0E-07	1,1E-07	1,2E-07	1,4E-07	1,5E-07	1,6E-07	1,7E-07	1,8E-07	1,9E-07	2,0E-07	2,1E-07
	2,3	1,9E-08	3,9E-08	5,8E-08	7,8E-08	9,7E-08	1,2E-07	1,4E-07	1,6E-07	1,7E-07	1,2E-07	1,4E-07	1,5E-07	1,6E-07	1,7E-07	1,9E-07	2,0E-07	2,1E-07	2,2E-07	2,4E-07	2,5E-07
	2,4	2,3E-08	4,6E-08	6,9E-08	9,2E-08	1,2E-07	1,4E-07	1,6E-07	1,8E-07	2,1E-07	1,5E-07	1,6E-07	1,8E-07	1,9E-07	2,1E-07	2,2E-07	2,4E-07	2,5E-07	2,7E-07	2,8E-07	2,9E-07
	2,5	2,7E-08	5,4E-08	8,1E-08	1,1E-07	1,4E-07	1,6E-07	1,9E-07	2,2E-07	2,4E-07	1,7E-07	1,9E-07	2,1E-07	2,3E-07	2,4E-07	2,6E-07	2,8E-07	3,0E-07	3,1E-07	3,3E-07	3,5E-07
	2,6	3,2E-08	6,3E-08	9,5E-08	1,3E-07	1,6E-07	1,9E-07	2,2E-07	2,5E-07	2,9E-07	2,0E-07	2,2E-07	2,4E-07	2,6E-07	2,8E-07	3,0E-07	3,2E-07	3,5E-07	3,7E-07	3,9E-07	4,1E-07
	2,7	3,7E-08	7,4E-08	1,1E-07	1,5E-07	1,8E-07	2,2E-07	2,6E-07	3,0E-07	3,3E-07	2,4E-07	2,6E-07	2,8E-07	3,1E-07	3,3E-07	3,5E-07	3,8E-07	4,0E-07	4,3E-07	4,5E-07	4,7E-07
	2,8	4,3E-08	8,5E-08	1,3E-07	1,7E-07	2,1E-07	2,6E-07	3,0E-07	3,4E-07	3,8E-07	2,7E-07	3,0E-07	3,3E-07	3,6E-07	3,8E-07	4,1E-07	4,4E-07	4,6E-07	4,9E-07	5,2E-07	5,5E-07
	2,9	4,9E-08	9,8E-08	1,5E-07	2,0E-07	2,5E-07	2,9E-07	3,4E-07	3,9E-07	4,4E-07	3,1E-07	3,5E-07	3,8E-07	4,1E-07	4,4E-07	4,7E-07	5,0E-07	5,3E-07	5,7E-07	6,0E-07	6,3E-07
	3	5,6E-08	1,1E-07	1,7E-07	2,3E-07	2,8E-07	3,4E-07	3,9E-07	4,5E-07	5,1E-07	3,6E-07	4,0E-07	4,3E-07	4,7E-07	5,0E-07	5,4E-07	5,8E-07	6,1E-07	6,5E-07	6,8E-07	7,2E-07

Quadro 3 - Tabela de dimensionamento para caixilharias de classe 3, 1200 Pa

		b/h																			
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
h	1	1,0E-09	2,1E-09	3,1E-09	4,2E-09	5,2E-09	6,3E-09	7,3E-09	8,3E-09	9,4E-09	6,7E-09	7,3E-09	8,0E-09	8,7E-09	9,3E-09	1,0E-08	1,1E-08	1,1E-08	1,2E-08	1,3E-08	1,3E-08
	1,1	1,5E-09	3,1E-09	4,6E-09	6,1E-09	7,6E-09	9,2E-09	1,1E-08	1,2E-08	1,4E-08	9,8E-09	1,1E-08	1,2E-08	1,3E-08	1,4E-08	1,5E-08	1,6E-08	1,7E-08	1,8E-08	1,9E-08	2,0E-08
	1,2	2,2E-09	4,3E-09	6,5E-09	8,6E-09	1,1E-08	1,3E-08	1,5E-08	1,7E-08	1,9E-08	1,4E-08	1,5E-08	1,7E-08	1,8E-08	1,9E-08	2,1E-08	2,2E-08	2,4E-08	2,5E-08	2,6E-08	2,8E-08
	1,3	3,0E-09	6,0E-09	8,9E-09	1,2E-08	1,5E-08	1,8E-08	2,1E-08	2,4E-08	2,7E-08	1,9E-08	2,1E-08	2,3E-08	2,5E-08	2,7E-08	2,9E-08	3,0E-08	3,2E-08	3,4E-08	3,6E-08	3,8E-08
	1,4	4,0E-09	8,0E-09	1,2E-08	1,6E-08	2,0E-08	2,4E-08	2,8E-08	3,2E-08	3,6E-08	2,6E-08	2,8E-08	3,1E-08	3,3E-08	3,6E-08	3,8E-08	4,1E-08	4,4E-08	4,6E-08	4,9E-08	5,1E-08
	1,5	5,3E-09	1,1E-08	1,6E-08	2,1E-08	2,6E-08	3,2E-08	3,7E-08	4,2E-08	4,7E-08	3,4E-08	3,7E-08	4,1E-08	4,4E-08	4,7E-08	5,1E-08	5,4E-08	5,7E-08	6,1E-08	6,4E-08	6,8E-08
	1,6	6,8E-09	1,4E-08	2,0E-08	2,7E-08	3,4E-08	4,1E-08	4,8E-08	5,5E-08	6,1E-08	4,4E-08	4,8E-08	5,2E-08	5,7E-08	6,1E-08	6,6E-08	7,0E-08	7,4E-08	7,9E-08	8,3E-08	8,7E-08
	1,7	8,7E-09	1,7E-08	2,6E-08	3,5E-08	4,4E-08	5,2E-08	6,1E-08	7,0E-08	7,8E-08	5,6E-08	6,1E-08	6,7E-08	7,2E-08	7,8E-08	8,4E-08	8,9E-08	9,5E-08	1,0E-07	1,1E-07	1,1E-07
	1,8	1,1E-08	2,2E-08	3,3E-08	4,4E-08	5,5E-08	6,6E-08	7,7E-08	8,7E-08	9,8E-08	7,0E-08	7,7E-08	8,4E-08	9,1E-08	9,8E-08	1,0E-07	1,1E-07	1,2E-07	1,3E-07	1,3E-07	1,4E-07
	1,9	1,4E-08	2,7E-08	4,1E-08	5,4E-08	6,8E-08	8,1E-08	9,5E-08	1,1E-07	1,2E-07	8,7E-08	9,6E-08	1,0E-07	1,1E-07	1,2E-07	1,3E-07	1,4E-07	1,5E-07	1,6E-07	1,7E-07	1,7E-07
	2	1,7E-08	3,3E-08	5,0E-08	6,7E-08	8,3E-08	1,0E-07	1,2E-07	1,3E-07	1,5E-07	1,1E-07	1,2E-07	1,3E-07	1,4E-07	1,5E-07	1,6E-07	1,7E-07	1,8E-07	1,9E-07	2,0E-07	2,1E-07
	2,1	2,0E-08	4,1E-08	6,1E-08	8,1E-08	1,0E-07	1,2E-07	1,4E-07	1,6E-07	1,8E-07	1,3E-07	1,4E-07	1,6E-07	1,7E-07	1,8E-07	1,9E-07	2,1E-07	2,2E-07	2,3E-07	2,5E-07	2,6E-07
	2,2	2,4E-08	4,9E-08	7,3E-08	9,8E-08	1,2E-07	1,5E-07	1,7E-07	2,0E-07	2,2E-07	1,6E-07	1,7E-07	1,9E-07	2,0E-07	2,2E-07	2,3E-07	2,5E-07	2,7E-07	2,8E-07	3,0E-07	3,1E-07
	2,3	2,9E-08	5,8E-08	8,7E-08	1,2E-07	1,5E-07	1,7E-07	2,0E-07	2,3E-07	2,6E-07	1,9E-07	2,1E-07	2,2E-07	2,4E-07	2,6E-07	2,8E-07	3,0E-07	3,2E-07	3,4E-07	3,5E-07	3,7E-07
	2,4	3,5E-08	6,9E-08	1,0E-07	1,4E-07	1,7E-07	2,1E-07	2,4E-07	2,8E-07	3,1E-07	2,2E-07	2,4E-07	2,7E-07	2,9E-07	3,1E-07	3,3E-07	3,5E-07	3,8E-07	4,0E-07	4,2E-07	4,4E-07
	2,5	4,1E-08	8,1E-08	1,2E-07	1,6E-07	2,0E-07	2,4E-07	2,8E-07	3,3E-07	3,7E-07	2,6E-07	2,9E-07	3,1E-07	3,4E-07	3,6E-07	3,9E-07	4,2E-07	4,4E-07	4,7E-07	4,9E-07	5,2E-07
	2,6	4,8E-08	9,5E-08	1,4E-07	1,9E-07	2,4E-07	2,9E-07	3,3E-07	3,8E-07	4,3E-07	3,0E-07	3,4E-07	3,7E-07	4,0E-07	4,3E-07	4,6E-07	4,9E-07	5,2E-07	5,5E-07	5,8E-07	6,1E-07
	2,7	5,5E-08	1,1E-07	1,7E-07	2,2E-07	2,8E-07	3,3E-07	3,9E-07	4,4E-07	5,0E-07	3,5E-07	3,9E-07	4,3E-07	4,6E-07	5,0E-07	5,3E-07	5,7E-07	6,0E-07	6,4E-07	6,7E-07	7,1E-07
	2,8	6,4E-08	1,3E-07	1,9E-07	2,6E-07	3,2E-07	3,8E-07	4,5E-07	5,1E-07	5,8E-07	4,1E-07	4,5E-07	4,9E-07	5,3E-07	5,7E-07	6,1E-07	6,6E-07	7,0E-07	7,4E-07	7,8E-07	8,2E-07
	2,9	7,4E-08	1,5E-07	2,2E-07	2,9E-07	3,7E-07	4,4E-07	5,2E-07	5,9E-07	6,6E-07	4,7E-07	5,2E-07	5,7E-07	6,1E-07	6,6E-07	7,1E-07	7,5E-07	8,0E-07	8,5E-07	9,0E-07	9,4E-07
3		8,4E-08	1,7E-07	2,5E-07	3,4E-07	4,2E-07	5,1E-07	5,9E-07	6,8E-07	7,6E-07	5,4E-07	5,9E-07	6,5E-07	7,0E-07	7,6E-07	8,1E-07	8,6E-07	9,2E-07	9,7E-07	1,0E-06	1,1E-06

Quadro 4 - Tabela de dimensionamento para caixilharias de classe 4, 1600 Pa

		b/h																			
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
h	1	1,4E-09	2,8E-09	4,2E-09	5,6E-09	6,9E-09	8,3E-09	9,7E-09	1,1E-08	1,3E-08	8,9E-09	9,8E-09	1,1E-08	1,2E-08	1,2E-08	1,3E-08	1,4E-08	1,5E-08	1,6E-08	1,7E-08	1,8E-08
	1,1	2,0E-09	4,1E-09	6,1E-09	8,1E-09	1,0E-08	1,2E-08	1,4E-08	1,6E-08	1,8E-08	1,3E-08	1,4E-08	1,6E-08	1,7E-08	1,8E-08	2,0E-08	2,1E-08	2,2E-08	2,3E-08	2,5E-08	2,6E-08
	1,2	2,9E-09	5,8E-09	8,6E-09	1,2E-08	1,4E-08	1,7E-08	2,0E-08	2,3E-08	2,6E-08	1,8E-08	2,0E-08	2,2E-08	2,4E-08	2,6E-08	2,8E-08	2,9E-08	3,1E-08	3,3E-08	3,5E-08	3,7E-08
	1,3	4,0E-09	7,9E-09	1,2E-08	1,6E-08	2,0E-08	2,4E-08	2,8E-08	3,2E-08	3,6E-08	2,5E-08	2,8E-08	3,0E-08	3,3E-08	3,6E-08	3,8E-08	4,1E-08	4,3E-08	4,6E-08	4,8E-08	5,1E-08
	1,4	5,3E-09	1,1E-08	1,6E-08	2,1E-08	2,7E-08	3,2E-08	3,7E-08	4,3E-08	4,8E-08	3,4E-08	3,8E-08	4,1E-08	4,4E-08	4,8E-08	5,1E-08	5,5E-08	5,8E-08	6,1E-08	6,5E-08	6,8E-08
	1,5	7,0E-09	1,4E-08	2,1E-08	2,8E-08	3,5E-08	4,2E-08	4,9E-08	5,6E-08	6,3E-08	4,5E-08	5,0E-08	5,4E-08	5,9E-08	6,3E-08	6,8E-08	7,2E-08	7,7E-08	8,1E-08	8,6E-08	9,0E-08
	1,6	9,1E-09	1,8E-08	2,7E-08	3,6E-08	4,6E-08	5,5E-08	6,4E-08	7,3E-08	8,2E-08	5,8E-08	6,4E-08	7,0E-08	7,6E-08	8,2E-08	8,7E-08	9,3E-08	9,9E-08	1,0E-07	1,1E-07	1,2E-07
	1,7	1,2E-08	2,3E-08	3,5E-08	4,6E-08	5,8E-08	7,0E-08	8,1E-08	9,3E-08	1,0E-07	7,4E-08	8,2E-08	8,9E-08	9,7E-08	1,0E-07	1,1E-07	1,2E-07	1,3E-07	1,3E-07	1,4E-07	1,5E-07
	1,8	1,5E-08	2,9E-08	4,4E-08	5,8E-08	7,3E-08	8,7E-08	1,0E-07	1,2E-07	1,3E-07	9,3E-08	1,0E-07	1,1E-07	1,2E-07	1,3E-07	1,4E-07	1,5E-07	1,6E-07	1,7E-07	1,8E-07	1,9E-07
	1,9	1,8E-08	3,6E-08	5,4E-08	7,2E-08	9,1E-08	1,1E-07	1,3E-07	1,4E-07	1,6E-07	1,2E-07	1,3E-07	1,4E-07	1,5E-07	1,6E-07	1,7E-07	1,9E-07	2,0E-07	2,1E-07	2,2E-07	2,3E-07
	2	2,2E-08	4,4E-08	6,7E-08	8,9E-08	1,1E-07	1,3E-07	1,6E-07	1,8E-07	2,0E-07	1,4E-07	1,6E-07	1,7E-07	1,8E-07	2,0E-07	2,1E-07	2,3E-07	2,4E-07	2,6E-07	2,7E-07	2,8E-07
	2,1	2,7E-08	5,4E-08	8,1E-08	1,1E-07	1,4E-07	1,6E-07	1,9E-07	2,2E-07	2,4E-07	1,7E-07	1,9E-07	2,1E-07	2,2E-07	2,4E-07	2,6E-07	2,8E-07	2,9E-07	3,1E-07	3,3E-07	3,5E-07
	2,2	3,3E-08	6,5E-08	9,8E-08	1,3E-07	1,6E-07	2,0E-07	2,3E-07	2,6E-07	2,9E-07	2,1E-07	2,3E-07	2,5E-07	2,7E-07	2,9E-07	3,1E-07	3,3E-07	3,5E-07	3,7E-07	4,0E-07	4,2E-07
	2,3	3,9E-08	7,8E-08	1,2E-07	1,6E-07	1,9E-07	2,3E-07	2,7E-07	3,1E-07	3,5E-07	2,5E-07	2,7E-07	3,0E-07	3,2E-07	3,5E-07	3,7E-07	4,0E-07	4,2E-07	4,5E-07	4,7E-07	5,0E-07
	2,4	4,6E-08	9,2E-08	1,4E-07	1,8E-07	2,3E-07	2,8E-07	3,2E-07	3,7E-07	4,1E-07	2,9E-07	3,2E-07	3,5E-07	3,8E-07	4,1E-07	4,4E-07	4,7E-07	5,0E-07	5,3E-07	5,6E-07	5,9E-07
	2,5	5,4E-08	1,1E-07	1,6E-07	2,2E-07	2,7E-07	3,3E-07	3,8E-07	4,3E-07	4,9E-07	3,5E-07	3,8E-07	4,2E-07	4,5E-07	4,9E-07	5,2E-07	5,6E-07	5,9E-07	6,3E-07	6,6E-07	6,9E-07
	2,6	6,3E-08	1,3E-07	1,9E-07	2,5E-07	3,2E-07	3,8E-07	4,4E-07	5,1E-07	5,7E-07	4,1E-07	4,5E-07	4,9E-07	5,3E-07	5,7E-07	6,1E-07	6,5E-07	6,9E-07	7,3E-07	7,7E-07	8,1E-07
	2,7	7,4E-08	1,5E-07	2,2E-07	3,0E-07	3,7E-07	4,4E-07	5,2E-07	5,9E-07	6,6E-07	4,7E-07	5,2E-07	5,7E-07	6,1E-07	6,6E-07	7,1E-07	7,6E-07	8,0E-07	8,5E-07	9,0E-07	9,4E-07
	2,8	8,5E-08	1,7E-07	2,6E-07	3,4E-07	4,3E-07	5,1E-07	6,0E-07	6,8E-07	7,7E-07	5,5E-07	6,0E-07	6,6E-07	7,1E-07	7,6E-07	8,2E-07	8,7E-07	9,3E-07	9,8E-07	1,0E-06	1,1E-06
	2,9	9,8E-08	2,0E-07	2,9E-07	3,9E-07	4,9E-07	5,9E-07	6,9E-07	7,9E-07	8,8E-07	6,3E-07	6,9E-07	7,5E-07	8,2E-07	8,8E-07	9,4E-07	1,0E-06	1,1E-06	1,1E-06	1,2E-06	1,3E-06
3		1,1E-07	2,3E-07	3,4E-07	4,5E-07	5,6E-07	6,8E-07	7,9E-07	9,0E-07	1,0E-06	7,2E-07	7,9E-07	8,6E-07	9,4E-07	1,0E-06	1,1E-06	1,2E-06	1,2E-06	1,3E-06	1,4E-06	1,4E-06

Quadro 5 - Tabela de dimensionamento para caixilharias de classe 5, 2000 Pa

		b/h																			
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
h	1	1,7E-09	3,5E-09	5,2E-09	6,9E-09	8,7E-09	1,0E-08	1,2E-08	1,4E-08	1,6E-08	1,1E-08	1,2E-08	1,3E-08	1,4E-08	1,6E-08	1,7E-08	1,8E-08	1,9E-08	2,0E-08	2,1E-08	2,2E-08
	1,1	2,5E-09	5,1E-09	7,6E-09	1,0E-08	1,3E-08	1,5E-08	1,8E-08	2,0E-08	2,3E-08	1,6E-08	1,8E-08	2,0E-08	2,1E-08	2,3E-08	2,4E-08	2,6E-08	2,8E-08	2,9E-08	3,1E-08	3,3E-08
	1,2	3,6E-09	7,2E-09	1,1E-08	1,4E-08	1,8E-08	2,2E-08	2,5E-08	2,9E-08	3,2E-08	2,3E-08	2,5E-08	2,8E-08	3,0E-08	3,2E-08	3,5E-08	3,7E-08	3,9E-08	4,1E-08	4,4E-08	4,6E-08
	1,3	5,0E-09	9,9E-09	1,5E-08	2,0E-08	2,5E-08	3,0E-08	3,5E-08	4,0E-08	4,5E-08	3,2E-08	3,5E-08	3,8E-08	4,1E-08	4,4E-08	4,8E-08	5,1E-08	5,4E-08	5,7E-08	6,0E-08	6,3E-08
	1,4	6,7E-09	1,3E-08	2,0E-08	2,7E-08	3,3E-08	4,0E-08	4,7E-08	5,3E-08	6,0E-08	4,3E-08	4,7E-08	5,1E-08	5,5E-08	6,0E-08	6,4E-08	6,8E-08	7,3E-08	7,7E-08	8,1E-08	8,5E-08
	1,5	8,8E-09	1,8E-08	2,6E-08	3,5E-08	4,4E-08	5,3E-08	6,2E-08	7,0E-08	7,9E-08	5,6E-08	6,2E-08	6,8E-08	7,3E-08	7,9E-08	8,4E-08	9,0E-08	9,6E-08	1,0E-07	1,1E-07	1,1E-07
	1,6	1,1E-08	2,3E-08	3,4E-08	4,6E-08	5,7E-08	6,8E-08	8,0E-08	9,1E-08	1,0E-07	7,3E-08	8,0E-08	8,7E-08	9,5E-08	1,0E-07	1,1E-07	1,2E-07	1,2E-07	1,3E-07	1,4E-07	1,5E-07
	1,7	1,5E-08	2,9E-08	4,4E-08	5,8E-08	7,3E-08	8,7E-08	1,0E-07	1,2E-07	1,3E-07	9,3E-08	1,0E-07	1,1E-07	1,2E-07	1,3E-07	1,4E-07	1,5E-07	1,6E-07	1,7E-07	1,8E-07	1,9E-07
	1,8	1,8E-08	3,6E-08	5,5E-08	7,3E-08	9,1E-08	1,1E-07	1,3E-07	1,5E-07	1,6E-07	1,2E-07	1,3E-07	1,4E-07	1,5E-07	1,6E-07	1,7E-07	1,9E-07	2,0E-07	2,1E-07	2,2E-07	2,3E-07
	1,9	2,3E-08	4,5E-08	6,8E-08	9,1E-08	1,1E-07	1,4E-07	1,6E-07	1,8E-07	2,0E-07	1,4E-07	1,6E-07	1,7E-07	1,9E-07	2,0E-07	2,2E-07	2,3E-07	2,5E-07	2,6E-07	2,8E-07	2,9E-07
	2	2,8E-08	5,6E-08	8,3E-08	1,1E-07	1,4E-07	1,7E-07	1,9E-07	2,2E-07	2,5E-07	1,8E-07	2,0E-07	2,1E-07	2,3E-07	2,5E-07	2,7E-07	2,8E-07	3,0E-07	3,2E-07	3,4E-07	3,6E-07
	2,1	3,4E-08	6,8E-08	1,0E-07	1,4E-07	1,7E-07	2,0E-07	2,4E-07	2,7E-07	3,0E-07	2,2E-07	2,4E-07	2,6E-07	2,8E-07	3,0E-07	3,2E-07	3,5E-07	3,7E-07	3,9E-07	4,1E-07	4,3E-07
	2,2	4,1E-08	8,1E-08	1,2E-07	1,6E-07	2,0E-07	2,4E-07	2,8E-07	3,3E-07	3,7E-07	2,6E-07	2,9E-07	3,1E-07	3,4E-07	3,6E-07	3,9E-07	4,2E-07	4,4E-07	4,7E-07	4,9E-07	5,2E-07
	2,3	4,9E-08	9,7E-08	1,5E-07	1,9E-07	2,4E-07	2,9E-07	3,4E-07	3,9E-07	4,4E-07	3,1E-07	3,4E-07	3,7E-07	4,0E-07	4,4E-07	4,7E-07	5,0E-07	5,3E-07	5,6E-07	5,9E-07	6,2E-07
	2,4	5,8E-08	1,2E-07	1,7E-07	2,3E-07	2,9E-07	3,5E-07	4,0E-07	4,6E-07	5,2E-07	3,7E-07	4,1E-07	4,4E-07	4,8E-07	5,2E-07	5,5E-07	5,9E-07	6,3E-07	6,6E-07	7,0E-07	7,4E-07
	2,5	6,8E-08	1,4E-07	2,0E-07	2,7E-07	3,4E-07	4,1E-07	4,7E-07	5,4E-07	6,1E-07	4,3E-07	4,8E-07	5,2E-07	5,6E-07	6,1E-07	6,5E-07	6,9E-07	7,4E-07	7,8E-07	8,2E-07	8,7E-07
	2,6	7,9E-08	1,6E-07	2,4E-07	3,2E-07	4,0E-07	4,8E-07	5,6E-07	6,3E-07	7,1E-07	5,1E-07	5,6E-07	6,1E-07	6,6E-07	7,1E-07	7,6E-07	8,1E-07	8,6E-07	9,1E-07	9,6E-07	1,0E-06
	2,7	9,2E-08	1,8E-07	2,8E-07	3,7E-07	4,6E-07	5,5E-07	6,5E-07	7,4E-07	8,3E-07	5,9E-07	6,5E-07	7,1E-07	7,7E-07	8,3E-07	8,9E-07	9,4E-07	1,0E-06	1,1E-06	1,1E-06	1,2E-06
	2,8	1,1E-07	2,1E-07	3,2E-07	4,3E-07	5,3E-07	6,4E-07	7,5E-07	8,5E-07	9,6E-07	6,8E-07	7,5E-07	8,2E-07	8,9E-07	9,6E-07	1,0E-06	1,1E-06	1,2E-06	1,2E-06	1,3E-06	1,4E-06
	2,9	1,2E-07	2,5E-07	3,7E-07	4,9E-07	6,1E-07	7,4E-07	8,6E-07	9,8E-07	1,1E-06	7,9E-07	8,6E-07	9,4E-07	1,0E-06	1,1E-06	1,2E-06	1,3E-06	1,3E-06	1,4E-06	1,5E-06	1,6E-06
3		1,4E-07	2,8E-07	4,2E-07	5,6E-07	7,0E-07	8,4E-07	9,8E-07	1,1E-06	1,3E-06	9,0E-07	9,9E-07	1,1E-06	1,2E-06	1,3E-06	1,4E-06	1,4E-06	1,5E-06	1,6E-06	1,7E-06	1,8E-06