

FACHADAS VENTILADAS EM EDIFÍCIOS

Tipificação de soluções e interpretação do
funcionamento conjunto suporte/acabamento

FERNANDO MANUEL FERNANDES DE SOUSA

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, 2009.*

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.

AGRADECIMENTOS

Encontrando-me na fase final do meu Curso em Engenharia Civil e prestes a iniciar a minha vida profissional, não posso esquecer as pessoas que me apoiaram em todo o meu percurso académico. A realização deste trabalho é o culminar desse percurso e uma marca visível a todos. Por estas razões, e muitas mais, deixo aqui o meu mais sincero agradecimento.

Ao Professor Hipólito Sousa, pela forma entusiasta e cativante com que me orientou em todo este processo. Pela atitude motivadora mostrada de início ao fim no decorrer deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

Aos meus pais, pela presença constante na minha vida e pelos preciosos ensinamentos a mim transmitidos. Por todos os sacrifícios feitos, só ao alcance dos melhores, e pela confiança que têm em mim, agradeço do coração.

RESUMO

Atendendo à vulgarização dos sistemas de fachadas ventiladas, pretende-se com este trabalho apresentar de uma forma organizada as diversas soluções. Com base na pesquisa de mercado, são apresentados os diferentes materiais utilizados em revestimentos de fachadas ventiladas. As soluções desenvolvidas para cada material são descritas segundo as formas e as dimensões disponíveis no mercado. As tipologias de juntas e a sua influência no desempenho da fachada são temas também abordados. Os sistemas de fixação e as suas compatibilidades com os diferentes materiais são igualmente mencionados.

Com base em documentações técnicas, são definidos os requisitos de desempenho das fachadas ventiladas. Os principais documentos utilizados foram a recente norma de produto de fachadas-cortina e as documentações técnicas francesas sobre *bardages rapportés*.

Com vista a avaliar os desempenhos do sistema, é interpretado o comportamento mecânico, térmico e de estanquidade ao ar. As acções consideradas mais relevantes foram o peso próprio, a acção do vento e a acção dos sismos. Com esta análise pretende-se perceber o funcionamento da fachada ventilada e determinar os aspectos mais importantes para uma boa concepção do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Fachada ventilada, envolvente, análise exigencial, revestimento exterior, sistemas de fixação.

ABSTRACT

Given the vulgarization of the ventilated façades systems, it is intended to present this work in an organized way the various solutions. Based on market research, it's presented the different materials used in coatings for ventilated systems. The solutions developed for each material are described according to the shapes and sizes available. The types of joints and their influence on the façade performance are also topics covered. The fixing systems and their compatibility with different materials are also mentioned.

Based on technical documentation, it is defined the performance requirements of ventilated façades. The main documents used were the recent curtain wall product standard and french technical documentation about *bardages rapportés*.

In order to evaluate the performance of the system, is interpreted the mechanical, thermal and air tightness. The measures considered most relevant were the self weight, wind load and seismic action. With this analysis seeks to understand the operation of the ventilated system and determine the most important for good system design.

KEYWORDS: Ventilated façade, building envelope, performance based selection, coating, fixing systems.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJECTIVOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	3
 2. CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE FACHADA VENTILADA	 5
2.1. EVOLUÇÃO DAS FACHADAS EM PORTUGAL	5
2.2. TERMOS E DEFINIÇÕES	8
2.2.1. FACHADA CORTINA.....	8
2.2.2. FACHADA VENTILADA.....	8
2.2.3. FACHADA PRESSURIZÁVEL	9
2.3. CLASSIFICAÇÃO DE REVESTIMENTOS PARA PARAMENTOS EXTERIORES DE PAREDES.....	10
2.4. CARACTERIZAÇÃO DE REVESTIMENTOS E FIXAÇÃO	13
2.5. REVESTIMENTOS.....	20
2.5.1. PEDRA NATURAL	20
2.5.2. BETÃO.....	26
2.5.3. NATUROCIMENTO.....	30
2.5.4. METAL.....	33
2.5.5. CERÂMICOS	38
2.5.6. FENÓLICOS	39
2.5.7. MADEIRA	41
2.5.8. VIDRO	42
2.5.9. PLÁSTICO	44
2.5.10. PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	44
2.6. FIXAÇÃO	45
2.6.1. ANCORAGEM POR CAVILHAS OU DISCOS	45

2.6.2. ANCORAGEM POR GRAMPOS	46
2.6.3. ANCORAGEM LINEAR	47
2.6.4. ANCORAGEM NO TARDOZ.....	47
2.6.5. FIXAÇÃO POR PARAFUSOS OU REBITES.....	49
2.6.6. MOLDURA OU CAIXILHARIA	50
2.6.7. SISTEMAS DE ENCAIXE	50
2.6.8. FIXAÇÃO DE LÂMINAS FIXAS OU MÓVEIS	51
2.7. CARACTERIZAÇÃO DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS	51
2.8. PONTOS SINGULARES.....	52

3. ANÁLISE EXIGENCIAL DAS FACHADAS VENTILADAS 55

3.1. O CONCEITO EXIGENCIAL	55
3.2. DOCUMENTAÇÃO DE REFERÊNCIA	56
3.3. CERTIFICAÇÃO EUROPEIA	58
3.4. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO.....	58
3.4.1. FACHADA CORTINA	59
3.4.2. VENTILAÇÃO EM FACHADAS VENTILADAS	60
3.4.3. ISOLAMENTO TÉRMICO E CERTIFICAÇÃO ACERMI	62
3.4.4. REVESTIMENTOS E CLASSIFICAÇÃO REVETIR.....	63
3.4.5. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO DE FACHADAS VENTILADAS	67
3.5. ANÁLISE DE DESEMPENHO DA FACHADA VENTILADA.....	75
3.5.1. MANUTENÇÃO E REPARAÇÃO	75
3.5.2. COMPORTAMENTO AO FOGO	77

4. INTERPRETAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DAS FACHADAS VENTILADAS 85

4.1. COMPORTAMENTO MECÂNICO.....	85
4.1.1. PESO PRÓPRIO.....	85
4.1.2. ACÇÃO DO VENTO.....	86
4.1.3. ACÇÃO SÍSMICA	89
4.1.4. COMPATIBILIDADE ENTRE SUPORTES E FIXAÇÕES	91
4.1.5. INTERPRETAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS ANCORAGENS POR CAVILHA.....	92
4.1.6. IMPORTÂNCIA DAS ACÇÕES PARA DIFERENTES REVESTIMENTOS.....	97

4.2. COMPORTAMENTO TÉRMICO.....	98
4.2.1. CONTINUIDADE DO ISOLAMENTO TÉRMICO	98
4.2.2. EFEITO PÁRA-SOL	99
4.2.3. INÉRCIA TÉRMICA	100
4.2.4. DESEMPENHO DO SISTEMA DSF	101
4.3. COMPORTAMENTO DE ESTANQUIDADE AO AR.....	103
4.3.1. ESTRATÉGIAS DE VENTILAÇÃO	103
4.3.2. EFEITO CHAMINÉ.....	104
4.3.3. INTERFERÊNCIA DO VENTO NA CAIXA-DE-AR	105
 5. CONCLUSÕES.....	 107
5.1. CONCLUSÕES GERAIS	105
5.2. PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 – Fachada ventilada com painéis em alumínio e em vidro [1].....	1
Fig. 1.2 – Fachada linear metálica [1].....	2
Fig. 2.1 – Evolução das fachadas em Portugal até aos anos 80 [2].....	5
Fig. 2.2 – Casa em pedra (esq.) e edifício com estrutura porticada (dir.) [3;4].....	6
Fig. 2.3 – Evolução das fachadas em Portugal dos anos 90 até hoje [7].....	7
Fig. 2.4 – Funcionamento da Fachada Ventilada [1].....	8
Fig. 2.5 – Corte esquemático de uma câmara pressurizável [8].....	9
Fig. 2.6 – Revestimentos de estanquidade (EST).....	11
Fig. 2.7 – Revestimentos de isolamento térmico (ISOL).....	12
Fig. 2.8 – Tipos de dimensões faciais.....	14
Fig. 2.9 – Sistemas modulados – relação entre fachada ventilada e janelas [1]	14
Fig. 2.10 – Tipos de superfícies.....	15
Fig. 2.11 – Tipos de junta.....	16
Fig. 2.12 – Larguras mínimas de junta simples [N6].....	17
Fig. 2.13 – Texturas de rochas: granito, basalto, calcário, mármore e ardósia [12;13;14;15;16]	20
Fig. 2.14 – Principais tipos de acabamento em granitos, calcários e mármore [11]	21
Fig. 2.15 – Furação com ranhura, contínua ou descontínua, e furação circular [11]	22
Fig. 2.16 – Ancoragem por grampos [17].....	22
Fig. 2.17 – Tipos de furação para cada sistema de fixação.....	24
Fig. 2.18 – Fachada em soletos de ardósia [19]	25
Fig. 2.19 – Sistemas de fixação em “escama”	25
Fig. 2.20 – Fachada ventilada em betão polímero [20].....	26
Fig. 2.21 – Cores, texturas e formas do betão polímero [20].....	27
Fig. 2.22 – Formas para painéis de betão.....	28
Fig. 2.23 – Pormenor da fixação de painéis simples em GRC – a) corte vertical; b) corte horizontal [23]	29
Fig. 2.24 – Pormenor da fixação de painéis simples em GRC [22].....	30
Fig. 2.25 – Texturas de acabamento: liso, areado e a imitar a madeira [27].....	31
Fig. 2.26 – Fachadas ventiladas em naturocimento em placa (esq.) e lâmina (dir.) [28]	31
Fig. 2.27 – Chapas perfiladas em naturocimento [28]	32
Fig. 2.28 – Peças singulares em naturocimento [28].....	32

Fig. 2.29 – Fachada em aço inoxidável (esq.) e em alumínio (dir.) [30;1]	33
Fig. 2.30 – Painéis metálicos estampados [31]	34
Fig. 2.31 – Painéis metálicos furados (duas da esq.) e em rede (duas da dir.) [31]	34
Fig. 2.32 – Painéis metálicos perfilados com e sem arestas [32]	35
Fig. 2.33 – Painel tricamada [33]	35
Fig. 2.34 – Painel em favo [34]	36
Fig. 2.35 – Fachada ventilada metálica em lâmina [1]	37
Fig. 2.36 – Fachada ventilada em painéis cerâmicos (esq.) e lâminas cerâmicas (dir.) [1]	38
Fig. 2.37 – Camadas que compõem um painel fenólico [36]	39
Fig. 2.38 – Fachada ventilada em fenólico de folha de madeira [37]	40
Fig. 2.39 – Fachada em madeira maciça em ripado (esq.) e elementos de reduzida dimensão (dir.) [38]	41
Fig. 2.40 – Fachada em contraplacado (esq.) e em Viroc (dir.) [38;40]	42
Fig. 2.41 – Fachada em vidro com elementos rectangulares (esq.) e lâminas (dir.) [1;41]	43
Fig. 2.42 – Fachada em plástico policarbonato [10]	44
Fig. 2.43 – Esquema de fachada com painéis fotovoltaicos (esq.) e sua aplicação num edifício (dir.) [42]	45
Fig. 2.44 – Fachada com painéis fotovoltaicos, com ancoragem por grampos [42]	45
Fig. 2.45 – Ancoragens por cavilhas em juntas horizontais (duas à esq.) e verticais (dir.) [43]	46
Fig. 2.46 – Ancoragens por discos [11]	46
Fig. 2.47 – Ancoragem por grampos com e sem sobreposição [18]	46
Fig. 2.48 – Ancoragem linear [18]	47
Fig. 2.49 – Ancoragem no tardo por pernos ajustáveis [44]	47
Fig. 2.50 – Ancoragem no tardo por sistema de suspensão [44]	48
Fig. 2.51 – Ancoragem no tardo por sistema de aperto [41]	48
Fig. 2.52 – Ancoragem no tardo por ganchos [18]	49
Fig. 2.53 – Ripado de madeira fixada por parafusos ou rebites [28]	49
Fig. 2.54 – Sistema de moldura [33]	50
Fig. 2.55 – Sistema de encaixe para cassettes [33]	50
Fig. 2.56 – Sistema de encaixe de lâminas na vertical [1]	51
Fig. 2.57 – Lâminas simples fixadas por encaixe (esq.) e aerodinâmicas fixas e móveis (duas da dir.) [1]	51
Fig. 2.58 – Pormenores da platibanda, abertura inferior (esq.) e compartimentação da caixa-de-ar (dir.)	52

Fig. 2.59 – Pormenores de soluções de cunhais – a) Canto aberto; b) Elemento de canto; c) Perfil de canto.....	53
Fig. 2.60 – Pormenor do parapeito	53
Fig. 3.1 – Avaliação da qualidade de soluções construtivas [46].....	56
Fig. 3.2 – Compartimentações verticais em fachadas com subestruturas em madeira [48;49].....	62
Fig. 3.3 – Ensaio Perfoteste (esq.) e ensaio ao choque de corpo mole (dir.) [51;53]	66
Fig. 3.4 – Antiga classificação LNEC de reacção ao fogo para materiais de construção	78
Fig. 4.1 – Registo da velocidade do vento no tempo (esq.); registo da velocidade do vento em altura (dir.) [64]	86
Fig. 4.2 – Zonas de separação do escoamento em torno de formas rectangulares [64]	87
Fig. 4.3 – Pressão devido ao vento em superfícies, em planta (esq.) e em corte transversal (dir.)	88
Fig. 4.4 – Protótipo de fachada para ensaio com estrutura (esq.) e revestimento (dir.) [66].....	89
Fig. 4.5 – As quatro zonas sísmicas do território português [67]	90
Fig. 4.6 – Fixação pontual através de ancoragem por cavilhas [N6].....	92
Fig. 4.7 – Cortes verticais de ancoragens por cavilha em juntas verticais (esq.) e horizontais (dir.) [44]	92
Fig. 4.8 – Corte esquemático de uma placa na zona de inserção de uma cavilha [11]	93
Fig. 4.9 – Momentos flectores dos elementos de revestimento com ancoragem por cavilhas [11].....	94
Fig. 4.10 – Distribuição do peso próprio sobre a ancoragem em junta vertical	94
Fig. 4.11 – Distribuição do peso próprio sobre a ancoragem em junta horizontal	95
Fig. 4.12 – Ancoragem por cavilhas com revestimento na vertical (esq.) e na horizontal (dir.) [44].....	96
Fig. 4.13 – Ancoragem por cavilhas com revestimento na vertical (esq.) e na horizontal (dir.).....	96
Fig. 4.14 – Interrupção de isolamento pela estrutura em madeira (esq.) e metálica (dir.) [11].....	99
Fig. 4.15 – Soluções de continuidade de isolamento para estrutura em madeira (esq.) e metálica (dir.) [N6].....	99
Fig. 4.16 – Trocas energéticas numa parede opaca com pára-sol	100
Fig. 4.17 – Evolução das temperaturas para diferentes inércias térmicas [68]	101
Fig. 4.18 – Simulação computacional de um sistema DSF: (1) previsão do fluxo de radiação solar que atravessa a cavidade; (2) previsão da distribuição de velocidades do ar; (3) previsão da distribuição de temperaturas do ar; (4) configuração mecânica do sistema ventilado DSF [69].....	102
Fig. 4.19 – Estratégias de ventilação envolvendo o ar interior e/ou exterior [69].....	103
Fig. 4.20 – Representação esquemática do efeito de chaminé em edifícios [65]	104
Fig. 4.21 – Movimentos do ar na cavidade devido ao vento - corte transversal (esq.) e vista frontal (dir.).....	105
Fig. 4.22 – Estratégias para melhorar a estanquidade ao ar – junta sobreposta (esq.) e perfil de junta (dir.).....	106

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Tipos de dimensões faciais	13
Quadro 2.2 – Formas e fixações para os diversos materiais de revestimento	18
Quadro 2.3 – Formas e fixações para revestimentos em betão	28
Quadro 2.4 – Formas e fixações para revestimentos metálicos	36
Quadro 2.5 – Formas e fixações para revestimentos metálicos em lâmina	37
Quadro 2.6 – Formas e fixações para revestimentos cerâmicos	39
Quadro 2.7 – Fixações para painéis fenólicos	40
Quadro 2.8 – Dimensões e fixações para revestimentos em madeira ou derivados	42
Quadro 2.9 – Fixação de revestimentos em vidro	43
Quadro 3.1 – Características e níveis de aptidão de utilização de isolamentos térmicos	63
Quadro 3.2 – Classificação da resistência ao vento do sub-sistema revestimento [50]	65
Quadro 3.3 – Exigências de desempenho das fachadas ventiladas	68
Quadro 3.4 – Facilidade de montagem e substituição	76
Quadro 3.5 – Euroclasses de reacção ao fogo para materiais de construção [55]	78
Quadro 3.6 – Equivalência entre classificações de reacção ao fogo de produtos de construção [56] ..	79
Quadro 3.7 – Equivalência entre classificações de resistência ao fogo padrão de produtos de construção [56]	80
Quadro 3.8 – Reacção ao fogo de elementos de revestimento exterior criando caixa-de-ar [57]	81
Quadro 3.9 – Resistência ao fogo em fachadas e paredes exteriores (incluindo elementos envidraçados) [56]	81
Quadro 3.10 – Classificação de reacção ao fogo para diferentes materiais de revestimento	82
Quadro 3.11 – Classificação de reacção ao fogo para diferentes materiais aplicáveis na subestrutura	83
Quadro 4.1 – Descrição das classes do solo [67]	90
Quadro 4.2 – Compatibilidade entre suportes e processos de fixação de revestimentos [N6]	91
Quadro 4.3 – Níveis de importância de cada uma das acções para diferentes materiais de revestimento	98

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

γ_{sat} - peso específico saturado [kN/m^3]

γ_d - peso específico seco do material [kN/m^3]

n - porosidade aberta do material [%]

γ_w - peso específico da água [kN/m^3]

$u(z, t)$ - velocidade de rajada do vento [m/s]

$u(z)$ - velocidade média do vento [m/s]

$u'(z, t)$ - componente de comportamento variável da velocidade do vento [m/s]

v_s - valor médio da velocidade de propagação das ondas sísmicas [m/s]

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

RCD - Resíduos de Construção e Demolição

EPS - espuma rígida de poliestireno

GRC - *Glassfibre Reinforced Concrete*, betão reforçado com fibra de vidro

PVA - álcool polivinílico

OSB - *Oriented Strand Board*, painéis de aparas de madeira

MDF - *Medium Density Fiberboard*, painéis de densidade média

HDF - *High Density Fiberboard*, placas de elevada densidade

DPC - Directiva dos Produtos de Construção

EOTA - *European Organisation for Technical Approvals*

IPQ - Instituto Português da Qualidade

ONS - Organismos de Normalização Sectorial

CT - Comissões Técnicas

ISO - *International Organization for Standardization*

CEN - Comité Européen de Normalização

DTU - *Document Technique Unifié*

CPT - *Cahiers des Prescriptions Techniques*

CSTB - *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*

ETA - Aprovação Técnica Europeia

JOCE - Jornal Oficial da Comunidade Europeia

UE – União Europeia

ACERMI - *Association pour la Certification des matériaux isolants*

EN – Norma Europeia

NP - Norma Portuguesa

DNA – Documentos Nacionais de Aplicação

RSA - Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes

DSF - *double skin façade*

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Com a crescente utilização do sistema de fachadas ventiladas na construção moderna, têm surgido novas soluções com diferentes tipos de material de acabamento, associadas a uma nova abordagem arquitectónica, tanto do ponto de vista estético, como funcional. A utilização deste sistema tem-se cingido, em Portugal, aos revestimentos em pedra, explorando-se pouco a diversidade de soluções disponíveis, sobretudo no mercado internacional. É através desta diversidade de soluções que se prevê uma maior aderência à utilização do sistema e a principal razão de interesse deste trabalho.

Procura-se com a utilização de outros materiais, desenvolver soluções de diferentes cores, texturas e formas, dando uma maior amplitude de escolha aos arquitectos. Este facto permite construir edifícios com identidades próprias, apresentando estéticas inovadoras e atractivas que se destaquem das soluções comuns. Num mercado competitivo, como é a construção, estes aspectos são importantíssimos para o sucesso de qualquer empresa. A inovação é a chave.

Existem diversas abordagens na busca da inovação, destacando-se a criação de estéticas modernas e o desenvolvimento de soluções cada vez mais leves.

Na criação de novas estéticas existem duas estratégias. Uma dessas estratégias é a utilização da cor e da textura para criar padrões, intercalando os diferentes painéis que podem até ser de materiais distintos, como se vê na figura 1.1.



Figura 1.1 – Fachada ventilada com painéis em alumínio e em vidro [1]

A outra estratégia é o desenvolvimento de revestimentos com diferentes formas, como são as soluções em lâmina, que tanto podem funcionar nas zonas opacas (fachada ventilada) como sobre envidraçados, desempenhando o papel de protecção solar, como se vê na figura 1.2.



Figura 1.2 – Fachada linear metálica [1]

O desenvolvimento de soluções cada vez mais leves melhora os rendimentos associados à montagem e não exigem suportes tão resistentes. Este último aspecto contribui para o alargamento do campo de aplicação das fachadas ventiladas à reabilitação de edifícios.

O facto de a fachada ventilada criar um invólucro separado e independente da estrutura do edifício, torna este sistema muito interessante para a reabilitação. Para além de proteger o edifício das acções agressivas do ambiente, como as variações térmicas que provocam fendilhação e a melhoria significativa da estanquidade à água, a fixação mecânica através de uma estrutura secundária reduz em muito as cargas descarregadas no suporte.

Espera-se que este trabalho ajude a conhecer o sistema de fachadas ventiladas em todas as suas variantes, e a contribuir para a divulgação do sistema no mercado português.

1.2. OBJECTIVOS

Atendendo à vulgarização das soluções de fachadas ventiladas com diferentes tipos de materiais de acabamento, pretende-se desenvolver no presente trabalho os seguintes objectivos:

- apresentar de uma forma organizada as variadas soluções de fachadas ventiladas existentes, abordando os diferentes materiais utilizados para revestimentos, as variadas formas de fixação e os isolamentos térmicos;
- identificar as exigências de desempenho das fachadas ventiladas e enquadrar a fachada ventilada na norma portuguesa fachadas-cortinas; elaborar uma análise com mais profundidade de algumas exigências da fachada ventilada;
- interpretar tecnicamente o comportamento mecânico, térmico e de estanquidade ao ar das fachadas ventiladas e retirar algumas conclusões relativas ao seu funcionamento.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Com vista a alcançar os objectivos propostos, organizou-se o trabalho em 5 capítulos.

O presente capítulo destina-se a esclarecer o interesse do tema abordado, definir os objectivos e apresentar a organização do trabalho.

No capítulo 2, caracteriza-se os sistemas de fachada ventilada. Começa-se por relatar um pouco da história das fachadas em Portugal, e enquadrar as fachadas ventiladas nessa evolução. Distinguem-se os conceitos de fachada-cortina, de fachada ventilada e de fachada pressurizável. Classifica-se a fachada ventilada tendo por base a classificação de revestimentos elaborado pelo LNEC. Caracterizam-se as dimensões, as formas, as tipologias de juntas do revestimento e apresenta-se um quadro síntese que relaciona as soluções de revestimento e as diferentes formas de fixação. Em seguida descrevem-se cada uma das soluções de revestimento, formas de fixação e isolamentos térmicos. Por fim, apresentam-se alguns pontos singulares do sistema “fachadas ventiladas”.

No capítulo 3, faz-se a análise exigencial das fachadas ventiladas. Em primeiro lugar esclarece-se o que é o conceito exigencial, as documentações de referência aplicáveis e a certificação europeia. Para a definição das exigências de desempenho começa-se por falar da norma portuguesa de fachadas-cortina, desenvolvem-se os temas sobre o dimensionamento adequado para haver ventilação, o certificado ACERMI sobre isolamentos térmicos, a classificação reVETIR sobre revestimentos e apresenta-se um quadro com as exigências de desempenho da fachada ventilada. Por fim, analisa-se mais detalhadamente a facilidade de desmontagem do sistema em situações de manutenção e reparação, e o comportamento ao fogo da fachada ventilada.

No capítulo 4, interpreta-se o funcionamento da fachada ventilada segundo o seu comportamento mecânico, térmico e de estanquidade ao ar. No comportamento mecânico, abordam-se o peso próprio, a acção do vento, a acção sísmica, a compatibilidade entre suportes e fixações, interpreta-se o comportamento das ancoragens por cavilha e termina-se distinguindo a importância de cada acção para os diferentes materiais. Quanto ao comportamento térmico, destacam-se os problemas de continuidade do isolamento térmico, o efeito pára-sol da fachada, a importância da inércia térmica e analisa-se o comportamento do sistema DSF. Por fim, fala-se da estanquidade ao ar descrevendo as diferentes estratégias de ventilação, o efeito chaminé e a interferência do vento na caixa-de-ar.

O capítulo 5 apresenta as conclusões retiradas do trabalho efectuado.

2

CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE FACHADA VENTILADA

2.1. EVOLUÇÃO DAS FACHADAS EM PORTUGAL

De forma a situar e contextualizar as fachadas ventiladas na tradição construtiva portuguesa, é relevante proceder a uma breve descrição da evolução das soluções de envoltivo utilizadas ao longo dos tempos em Portugal para melhor entender o interesse do assunto em estudo.

A construção de fachadas no século XX pode ser definida, de forma simples e sintética, pelas soluções adoptadas em cada década na seguinte sequência (figura 2.1) [2]:

- Até anos 40 – paredes simples de pedra ou tijolo maciço ou perfurado espessas;
- Anos 50 – paredes de pedra com pano interior de tijolo furado e eventual caixa-de-ar;
- Anos 60 – paredes duplas de tijolo com um pano espesso;
- Anos 70 – paredes duplas de tijolo furado com panos de espessura média ou reduzida;
- Anos 80 – paredes duplas de tijolo com isolamento térmico, preenchendo total ou parcialmente a caixa-de-ar.

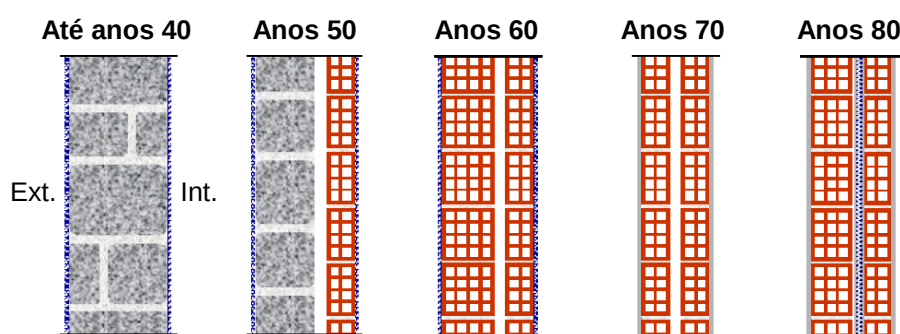


Figura 2.1 – Evolução das fachadas em Portugal até aos anos 80 [2]

Como em todas as civilizações, o primeiro material a ser utilizado na construção é o mais acessível à população, ou seja o mais abundante nas regiões onde residem. A pedra é um recurso de fácil acesso em Portugal, em especial o granito no norte do país, e com boas características resistentes para construção, sendo por estas razões o material mais utilizado na construção até aos anos 40. As paredes

apresentavam grandes espessuras não só por razões de estabilidade estrutural, mas também pelo ainda reduzido conhecimento do comportamento dos materiais, dado mais tarde pela engenharia, sendo os conhecimentos da construção baseados na experiência empírica dos construtores. Nos locais onde a pedra é um recurso escasso, esse papel foi desempenhado pelo tijolo.

Com a evolução dos tempos, não só as tecnologias evoluem, mas também aumentam as exigências das pessoas que habitam os edifícios. Para melhoria do conforto interior das habitações e redução dos custos de construção começou-se a revestir, nos anos 50, as paredes de alvenaria em pedra, agora de menor espessura, com um pano de alvenaria em tijolo pelo interior.

Nos anos 60 é introduzido o betão armado na construção portuguesa. Esta mudança construtiva fez com que as paredes exteriores deixassem de ter funções estruturais e passassem a ser exclusivamente um elemento separador do ambiente interior e exterior. Associado a este aspecto, a pré-fabricação e a necessidade de aligeirar as paredes levou à utilização quase em exclusivo do tijolo. A pedra é dessa forma substituída pelo tijolo, sendo a solução mais comum a parede dupla de alvenaria de tijolo, com o pano exterior mais espesso. Esta evolução culmina nos anos 70 com o máximo aligeiramento das paredes de fachada, parede dupla de dois panos de pequena espessura, que rapidamente caíram em desuso devido a problemas de fendilhação do pano exterior. A pedra deixa de ser o material predominante na construção de edifícios de habitação, como se vê na figura 2.2, passando a ser os edifícios monumentais a sua área de aplicação privilegiada pela sua qualidade estética e durabilidade.



Figura 2.2 – Casa em pedra (esq.) e edifício com estrutura porticada (dir.) [3;4]

Com as preocupações energéticas começa-se a assistir, nos anos 80, à introdução de materiais de isolamento térmico, preenchendo total ou parcialmente a caixa-de-ar das paredes duplas. Esta incorporação de materiais de isolamento térmico começou por se efectuar sem grande preocupação com o tratamento das pontes térmicas, o que foi alterado após a entrada em vigor do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei n.º 40/90, de 06 de Fevereiro [5].

Com vista à melhoria do isolamento térmico das partes cegas das paredes, surgiram então na Europa desenvolvida as seguintes soluções [6]:

- reforço do isolamento térmico das paredes pelo interior;
- utilização de elementos de construção – painéis ou blocos – constituídos por materiais de menor condutibilidade térmica do que os materiais tradicionais;
- reforço do isolamento térmico das paredes pelo exterior.

Perante o tratamento das pontes térmicas a primeira daquelas soluções perdeu de imediato interesse. De facto, mesmo que se fosse tentado a aumentar continuamente a espessura do isolante, a partir de determinada espessura esse aumento não conduziria a qualquer melhoria significativa do comportamento térmico da parede, uma vez que as pontes térmicas passariam a assumir um efeito predominante [6].

A utilização de elementos construtivos de menor condutibilidade térmica é uma solução mais vantajosa no combate às pontes térmicas, mas apresenta contudo dificuldades devidas a deficiências de resistência mecânica ou da necessidade de adopção, pelos projectistas, de modelos estruturais que não são aqueles a que estão habituados [6].

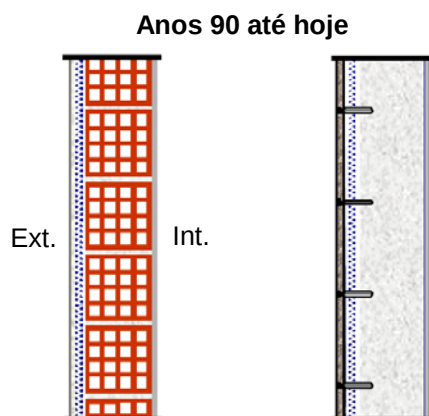


Figura 2.3 – Evolução das fachadas em Portugal dos anos 90 até hoje [7]

Pelos motivos expostos a solução de reforço do isolamento térmico pelo exterior é a que prevaleceu. Para além de possibilitar a manutenção de sistemas estruturais consagrados dos edifícios – estrutura reticulada com paredes de enchimento de alvenaria, paredes resistentes de betão moldado “in situ”, etc. – reúne ainda as seguintes vantagens [6]:

- elimina a maior parte das pontes térmicas;
- aumenta a durabilidade das fachadas – protecção contra variações de temperatura e água;
- aumenta o conforto de Verão no interior dos edifícios – aumento da inércia térmica;
- melhoria do aspecto, de impermeabilização e de isolamento térmico em edifícios antigos;
- pode ser executado em edifícios ocupados;
- não reduz o espaço habitável.

Dá-se então o ressurgimento das paredes simples ligadas a soluções inovadoras de isolamento térmico pelo exterior, quer com revestimento delgado armado, quer sob “placagens” de protecção (figura 2.3), e ainda a novas geometrias e funções, capazes de proporcionar um melhor desempenho térmico e mecânico [6].

Actualmente, não importa somente o bom desempenho da fachada. A qualidade estética é essencial para cativar possíveis compradores num mercado competitivo, como é a construção civil. A imagem transmitida pela fachada é muito importante para uma boa primeira impressão do comprador, como para tornar os locais onde se encontram mais agradáveis e atractivos.

É nesta nova abordagem que se enquadra o interesse das fachadas ventiladas com as mais variadas soluções de acabamento que poderão marcar uma nova arquitectura, tanto do ponto de vista estético como de eficiência de desempenho.

2.2. TERMOS E DEFINIÇÕES

Antes de se estabelecer o enquadramento da fachada ventilada na classificação dos revestimentos, convém esclarecer a diferença entre três conceitos de fachada que aparentam ser a mesma, mas têm modos de funcionamento diferentes. Os dois primeiros conceitos, já conhecidos e bastante desenvolvidos, são a fachada cortina e a fachada ventilada, enquanto o outro, ainda em estudo e desenvolvimento que poderá ser um passo evolutivo das anteriores, se definem por fachada pressurizável.

2.2.1. FACHADA CORTINA

“Geralmente é constituída por perfilamentos estruturais verticais e horizontais, ligados entre si e fixados à estrutura do edifício, com preenchimento, formando um revestimento contínuo leve que proporciona, por si próprio ou em conjugação com o corpo do edifício, todas as funções exigíveis de uma parede exterior, embora não suporte qualquer tipo de carga afecta à estrutura do edifício” [N1]. Esta definição foi retirada da norma portuguesa de fachadas-cortina, NP EN 13830:2009.

Esta solução evita a penetração da humidade dispondo de uma caixa-de-ar formada por um paramento exterior (cortina) e um interior. A cavidade pode ser ou não preenchida parcialmente e envolve toda a estrutura do edifício [8].

A caixa-de-ar tem as seguintes funções:

- interrupção da capilaridade;
- drenagem por gravidade.

2.2.2. FACHADA VENTILADA

Entende-se por fachada ventilada a envolvente vertical de um edifício composta pelos seguintes constituintes/subsistemas [8]:

- o revestimento ou camada exterior;
- uma subestrutura auxiliar que suporta o revestimento;
- uma cavidade ou caixa-de-ar incorporando eventualmente o isolamento térmico.

Esta solução insere-se numa das diferentes estratégias para evitar a penetração da humidade, uma solução particular da fachada cortina. A única diferença entre as duas, é a caixa-de-ar da fachada ventilada ser dimensionada de forma a permitir a remoção do ar aquecido da zona inferior da caixa-de-ar pelo chamado efeito chaminé [8]. Dessa forma as pequenas quantidades de água infiltradas ou condensadas na caixa-de-ar são evaporadas pela ventilação da mesma como exemplifica a figura 2.4.

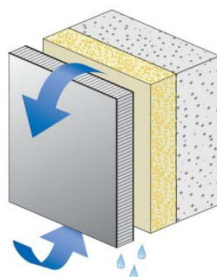


Figura 2.4 – Funcionamento da Fachada Ventilada [1]

A caixa-de-ar é responsável pelo desempenho higrotérmico da envolvente [8]:

- interrupção da capilaridade;
- drenagem por gravidade;
- remoção da humidade, através de um fluxo constante de ar.

2.2.3. FACHADA PRESSURIZÁVEL

A fachada pressurizável pode-se considerar de igual forma uma solução particular da fachada cortina sendo a grande diferença entre os dois conceitos a caixa-de-ar se encontrar estrategicamente compartimentada, de forma a equilibrar as diferenças de pressão entre o interior e o exterior [8].

O objectivo fundamental da pressurização é diminuir a diferença de pressão entre o exterior e a caixa-de-ar, tendo em conta as suas variações estáticas e dinâmicas, conseguindo-se [8]:

- a quantidade de água transportada pelo vento através das aberturas na fachada é muito menor;
- o revestimento e os respectivos elementos de suporte, ficam sujeito a uma acção manifestamente inferior.

Uma fachada pressurizável compreende, por isso, além dos elementos de suporte e ligação entre a cortina e o suporte da barreira interior, os elementos separadores que dividem a caixa-de-ar, designadamente (figura 2.5) [8]:

- a cortina – revestimento;
- a câmara-de-ar isolada do interior do edifício por uma barreira de ar;
- orifícios ventiladores na cortina ligando as câmaras com o exterior;
- elementos separadores e de compartimentação da caixa-de-ar.

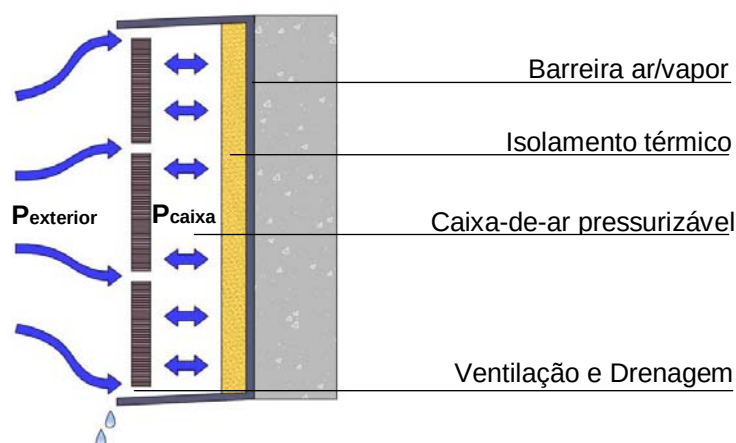


Figura 2.5 – Corte esquemático de uma câmara pressurizável [8]

Devido à possibilidade de infiltrações mesmo que em pequenas quantidades, a fachada dispõe de sistemas de drenagem, que em qualquer circunstância drenam a água infiltrada.

Outro aspecto interessante é os separadores serem em muitos casos os elementos metálicos contínuos de suporte do revestimento exterior que por vezes dificultavam a ventilação por efeito chaminé, e que na fachada pressurizável não tem qualquer relevância devido à compartimentação da caixa-de-ar.

2.3. CLASSIFICAÇÃO DE REVESTIMENTOS PARA PARAMENTOS EXTERIORES DE PAREDES

Tendo em conta que já existe uma classificação para revestimentos de paredes elaborado pelo LNEC, “Classificação geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou betão” [6], pretende-se enquadrar a fachada ventilada segundo esse documento e actualizar essa classificação perante a construção actual, visto este documento ter sido publicado em 1990 e constarem lá sistemas de fachada que ainda se encontravam em desenvolvimento e actualmente são (ou não) amplamente utilizados.

O documento está dividido em duas partes, paredes exteriores e interiores, para o qual interessa apenas a primeira. Os revestimentos das paredes exteriores estão classificados em quatro classes funcionais, que são as seguintes:

- **Revestimentos de estanquidade (EST)** – “Um revestimento diz-se de estanquidade quando é capaz de garantir praticamente por si só a estanquidade à água exigível em geral ao conjunto tosco de parede-revestimento; Estes revestimentos devem manter as suas características de estanquidade mesmo no caso de ocorrência de fissuração limitada do suporte” [6;9];
- **Revestimentos de impermeabilização (IMP)** – “Os revestimentos de impermeabilização conferem o complemento de impermeabilização à água necessário para que o conjunto parede-revestimento seja estanque; O revestimento deve, portanto, limitar a quantidade de água que atinge o suporte, mas será o conjunto parede-revestimento que globalmente assegurará a estanquidade requerida” [6;9];
- **Revestimentos de isolamento térmico (ISOL)** – Os revestimentos de isolamento térmico estão, na maioria dos casos, associados com as restantes soluções de revestimento (de estanquidade, de impermeabilização ou de acabamento), com o propósito de a solução de fachada garantir o conforto térmico do edifício, e não de estanquidade;
- **Revestimentos de acabamento ou decorativos (ACAB)** – “A função principal dum revestimento de acabamento ou decorativo consiste, como a designação sugere, em proporcionar às paredes aspecto agradável”, sendo pouco significativa a contribuição para o conforto térmico ou estanquidade à água [6;9].

Das quatro classes de revestimentos apenas interessam abordar os Revestimentos de estanquidade (EST) e os Revestimentos de isolamento térmico (ISOL). Esta classificação deve ser encarada como não restritiva, pois cada classe está habilitada a desempenhar outras funções para além daquela que ditou a sua classificação, por ter sido considerada função primordial.

Por sua vez, cada família de revestimentos engloba um conjunto de sistemas que correspondem às definições. As representações foram realizadas segundo as descrições presentes na classificação do LNEC. Os revestimentos de estanquidade são os presentes na figura 2.6 e a nomeação utilizada é a seguinte [6]:

- EST1 – Revestimentos por elementos descontínuos de fixação mecânica directa;
- EST2 – Revestimentos por elementos descontínuos de fixação mecânica independente;
- EST3 – Revestimentos de ligantes hidráulicos armados e independentes;
- EST4 – Revestimentos com base em ligantes sintéticos armados com fibra de vidro.

Os revestimentos de isolamento térmico estão apresentados no mesmo formato na figura 2.7 e a nomeação utilizada é a seguinte [6]:

- ISOL1 – Revestimentos por elementos descontínuos independentes ou de ligantes hidráulicos armados e independentes com isolante na caixa-de-ar;

- ISOL2 – Revestimentos espessos ou delgados sobre o isolante;
- ISOL3 – Revestimentos de reboco isolante térmico T, de categorias T1 ou T2 ⁽¹⁾;
- ISOL4 – Revestimentos por elementos descontínuos prefabricados;

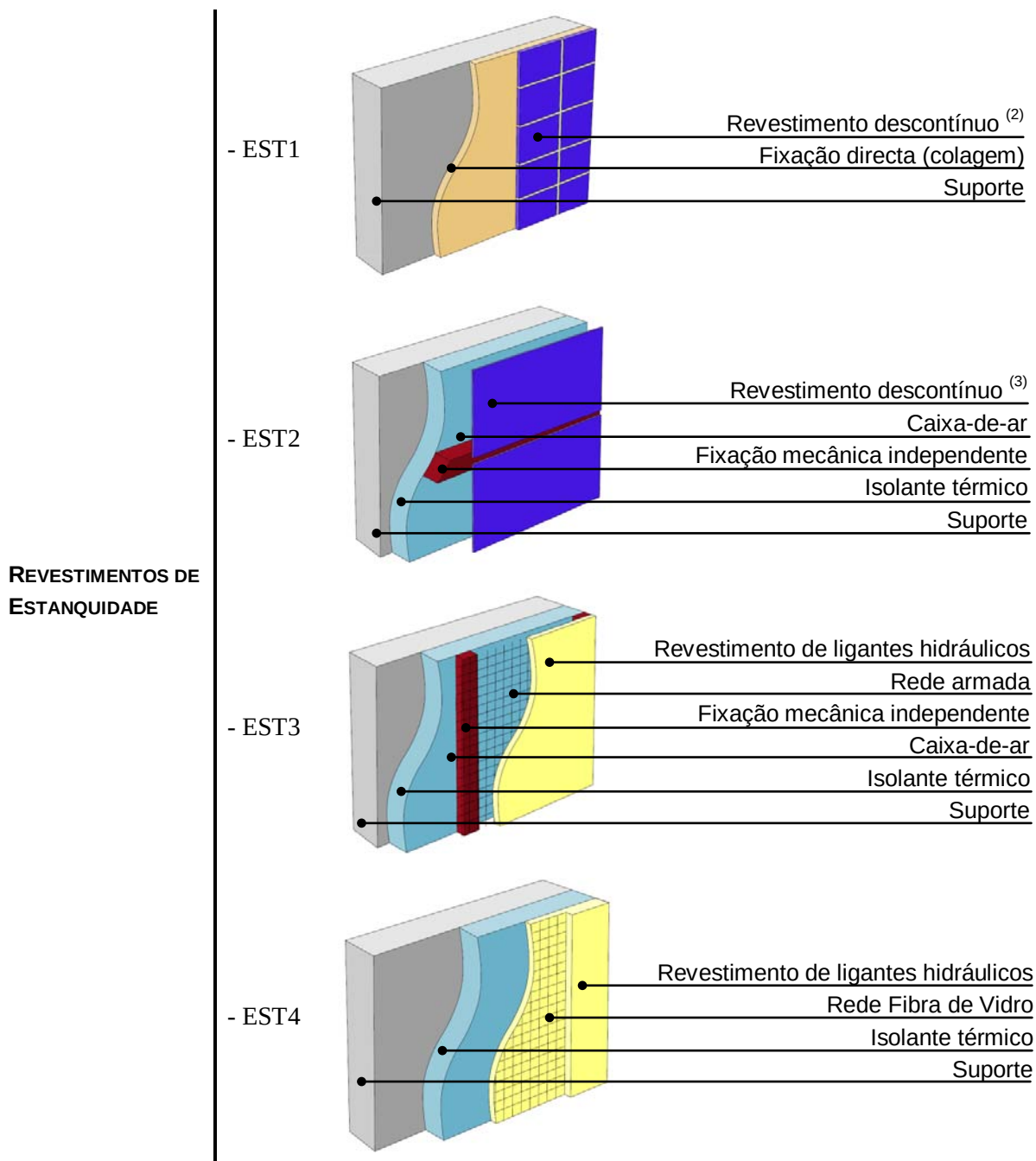


Figura 2.6 – Revestimentos de estanquidade (EST)

(1) – Categorias de reboco de isolamento térmico definidas na norma NP EN 998-1 [N2].

(2) – Exemplos de materiais: pedra natural e cerâmicos.

(3) – Exemplos de materiais: pedra natural, madeira, metal, fenólicos, cerâmicos, etc.

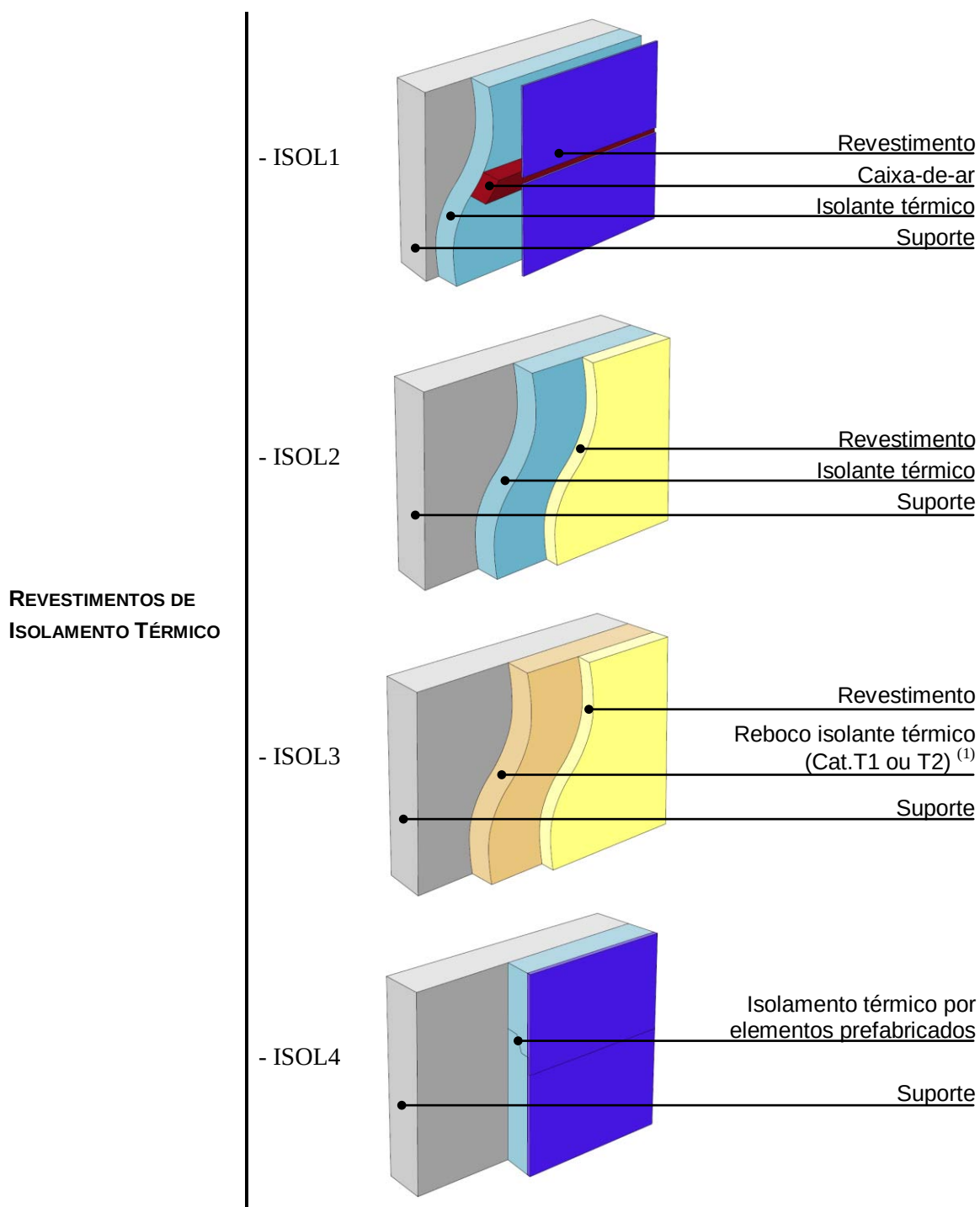


Figura 2.7 – Revestimentos de isolamento térmico (ISOL)

(1) – Categorias de reboco de isolamento térmico definidas na norma NP EN 998-1 [N2].

Os sistemas de isolamento térmico obtidos por projecção “in situ” de isolante, através do poliuretano, foram removidos desta classificação devido a ser sempre necessário o recurso a um revestimento sobre o isolante. A sua aplicação é possível em sistemas como os revestimentos com caixa-de-ar, podendo-se classificar como ISOL1.

As soluções de fachada ventilada enquadram-se nas seguintes famílias:

- **EST2** – Revestimentos por elementos descontínuos de fixação mecânica independente;
- **ISOL1** – Revestimentos por elementos descontínuos independentes, ou de ligantes hidráulicos armados e independentes com isolante na caixa-de-ar.

Após ter sido feito este enquadramento, desenvolvem-se em seguida as várias soluções de fachada ventilada onde são abordados os diferentes materiais, as suas formas e dimensões, as respectivas fixações e os tipos de isolantes térmicos utilizados.

2.4. CARACTERIZAÇÃO DE REVESTIMENTOS E FIXAÇÃO

As soluções de fachada ventilada têm, nos últimos anos, apresentado uma grande evolução tecnológica associada às exigências arquitectónicas actuais nas quais é essencial dispor de soluções com diversidade de materiais e formas. Este aspecto ganha especial importância já que a fachada ventilada é um sistema modular que traz grande facilidade e eficácia na execução, mas limita a liberdade de concepção por parte do arquitecto. Com o alargamento da fachada ventilada a mais materiais e a utilização de formatos inovadores é importante tipificar as soluções disponíveis no mercado de modo a facilitar a identificação das especificidades de cada solução a adoptar na concepção de uma fachada.

Começando a descrição do exterior para o interior, o primeiro elemento é o revestimento. O revestimento das fachadas ventiladas é constituído por elementos descontínuos que podem ser compostos por um ou mais materiais e apresentar as dimensões faciais segundo as seguintes tipologias de elementos [3]:

- Elementos de reduzidas dimensões faciais (ladrilhos, soletos ou “escamas”);
- Elementos em forma de réguas ou lâminas;
- Elementos de grandes dimensões faciais (placas).

Cada tipologia de dimensão facial é definida pelas condições do quadro 2.1 ou figura 2.8 [6].

Quadro 2.1 – Tipos de dimensões faciais

Elementos de reduzidas dimensões faciais	$H \leq 1\text{m}$ e $L \leq 1\text{m}$
Elementos em forma de réguas ou lâminas	$H \leq 0,30\text{m}$ e $L > 3 \times H$ ou $L \leq 0,30\text{m}$ e $H > 3 \times L$
Elementos de grandes dimensões faciais	$H > 1\text{m}$ ou $L > 1\text{m}$

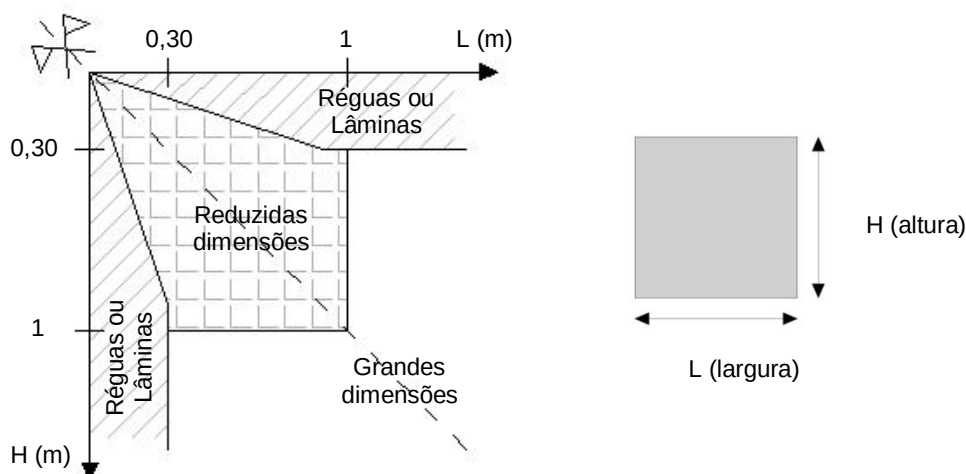


Figura 2.8 – Tipos de dimensões faciais

Seja qual for a tipologia, cada elemento de revestimento numa fachada ventilada deve ter as suas dimensões moduladas segundo o módulo M. Este módulo estabelece um valor base para a coordenação modular em edifícios. Este constitui uma disciplina dimensional que, com base no módulo M, visa a obtenção de conjuntos de dimensões para os elementos de construção, neste caso o revestimento descontínuo, de forma a que possam ser empregues em obra sem modificação posterior das suas dimensões de fabrico para efeitos de montagem. A sua aplicação facilita a comunicação entre os intervenientes nos projectos e elimina a improvisação na obra que leva em muitos casos a defeitos e consequentes patologias nos edifícios. As dimensões, os princípios gerais e regras a ser aplicadas aos edifícios como um todo, e aos seus componentes e elementos quando considerados individualmente, estão expressos no ISO 2848 [N3]. O valor standardizado internacional para o modulo básico é $1M = 100\text{ mm}$ [N4].

Com vista a cumprir a coordenação modular (figura 2.9) e sendo a fachada ventilada um sistema prefabricado, as dimensões devem basear-se nos módulos M e também nos seus múltiplos ou subdivisões, exceptuando os elementos com área superficial inferior a 9000 mm^2 [N5].

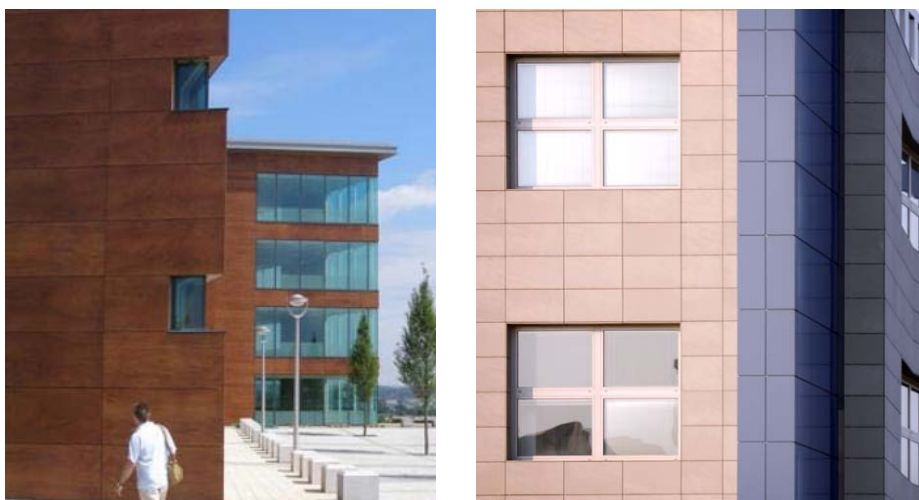


Figura 2.9 – Sistemas modulados – relação entre fachada ventilada e janelas [1]

Para além das dimensões faciais, os elementos podem apresentar diversos tipos de superfícies, podendo estas ser planas, curvas, perfiladas ou perfuradas, para as placas, ou apresentar formas mais inovadoras como as aerodinâmicas ou em forma de asa para as lâminas. Estas últimas surgem associadas à fusão entre a fachada ventilada e as protecções solares, numa nova abordagem arquitectónica da envolvente, na qual existe continuidade entre a zona corrente de fachada e as protecções solares das janelas. Os elementos de reduzida dimensão limitam-se às superfícies planas, porque por um lado não há tanta liberdade de “design” devido ao seu tamanho e por outro, os problemas de rigidez não têm tanta importância. As tipologias de superfície são as presentes na figura 2.10.

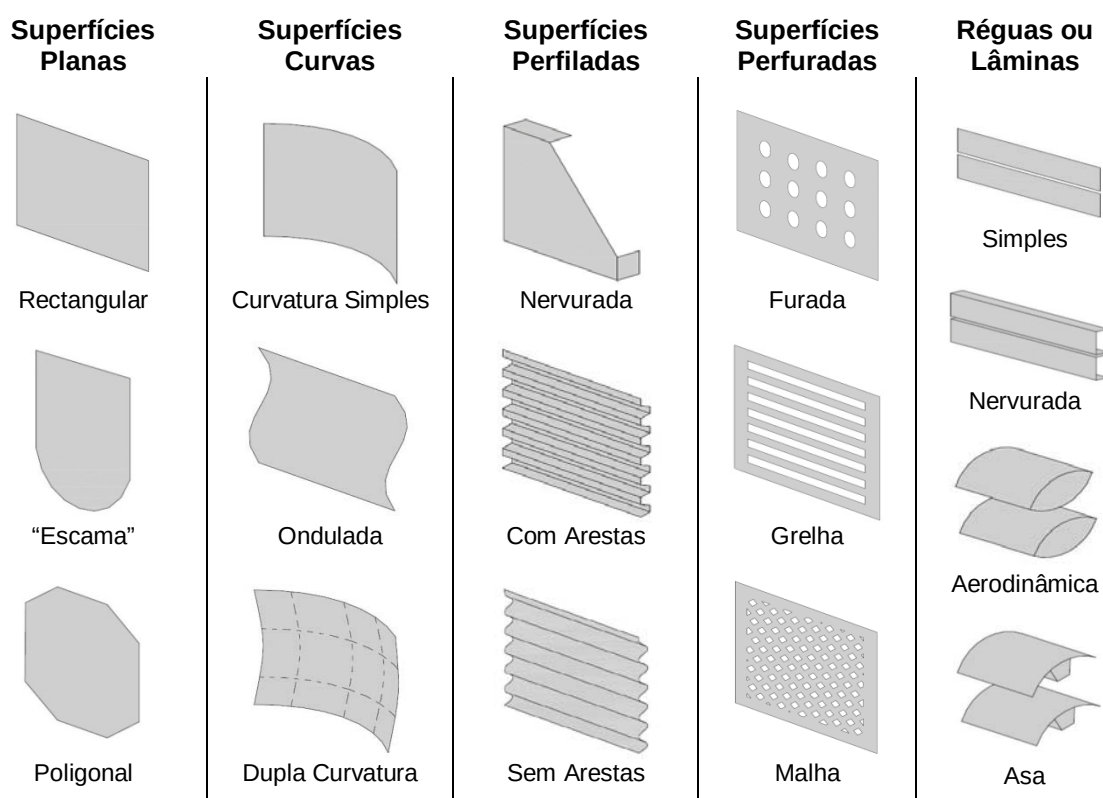


Figura 2.10 – Tipos de superfícies

As *superfícies planas*, em especial as rectangulares, são as mais comuns em fachadas ventiladas. São as soluções mais fáceis de aplicar do ponto de vista da montagem, como também são exequíveis em qualquer material.

As *superfícies curvas* são as menos comuns pelas razões opostas às anteriores. A sua aplicação em fachada tem implicações muito específicas, necessitando de uma análise caso a caso, e a sua exequibilidade restringe-se apenas a alguns materiais como o metal, a cerâmica e o plástico. No entanto, as *superfícies curvas simples* são excelentes soluções para os cunhais, que representam um grande problema de estanquidade nas fachadas ventiladas.

Nas *superfícies perfiladas* identificam-se dois tipos de soluções. A primeira é a placa *nervurada* que tem o propósito de a tornar mais rígida, reduzindo as deformações devidas a acções exteriores como o vento, e possibilitando a fixação oculta. As outras soluções são as típicas superfícies perfiladas que

podem ou não apresentar arestas que, para além de serem utilizadas com um intuito estético, podem ser interessantes em fachadas não verticais, facilitando o encaminhamento das águas da chuva.

As *superfícies perfuradas* são muito utilizadas quando se pretende a entrada de luz segundo padrões, criando diferentes ambiências a quem habita o espaço interior. Também dá um aspecto diferente e característico à fachada do edifício. No entanto, estas superfícies penalizam o desempenho da fachada, nomeadamente a estanquidade à água. Essa situação pode ser melhorada no painel em forma de grelha, se este for colocado com as aberturas segundo a horizontal e tiver um design adequado. Os painéis deste tipo são em norma metálicos.

As *lâminas ou réguas* são uma das primeiras soluções de revestimento a serem utilizadas, através do ripado de madeira [6], muito tradicional nas casas americanas. Esta solução alastrou-se para outros materiais como o metal, que levou a uma complementaridade com as protecções solares que já utilizavam esse material. Surgem assim edifícios em que é impossível distinguir as protecções solares da fachada ventilada.

Um aspecto sobre o revestimento ainda não mencionado e um dos mais importantes para o bom comportamento da fachada ventilada é constituído pelas juntas entre os elementos descontínuos. Pode-se ter os seguintes três tipos de juntas: juntas abertas, juntas sobrepostas ou a utilização de perfis de junta. Dentro de cada tipo de junta existem diversas soluções como se vê na figura 2.11 [10].

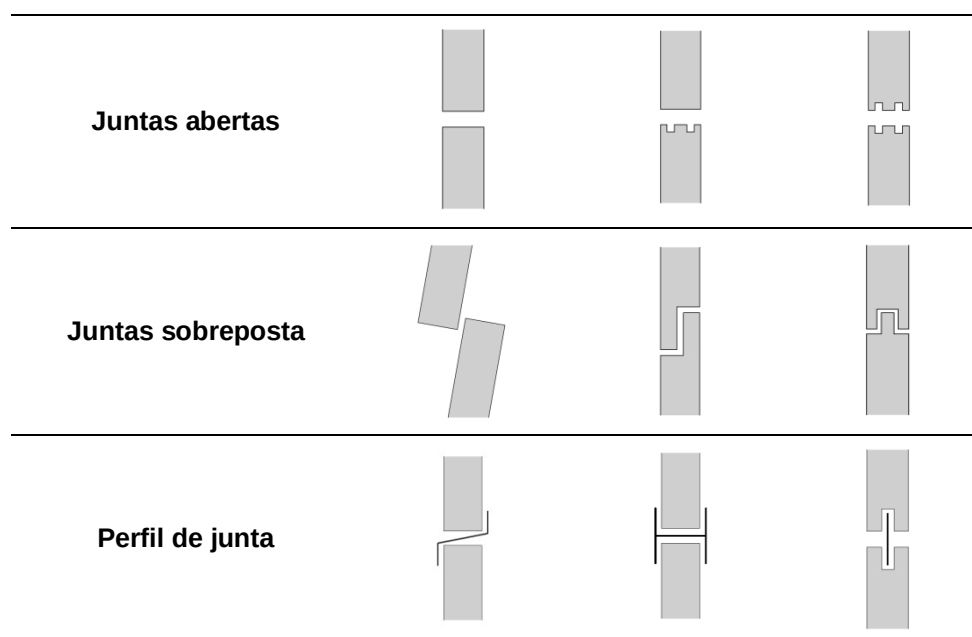


Figura 2.11 – Tipos de junta

Nesta classificação de juntas não se fez menção às soluções de preenchimento com material (mastiques) ou elementos de estanquidade. Essa hipótese, apesar de ser usada em casos particulares, não é adoptada nas fachadas ventiladas devido ao seu funcionamento necessitar de aberturas que permitam a circulação de ar sem deixar entrar de forma excessiva a água, que ponha em causa o bom comportamento do isolamento térmico.

A tipologia mais simples é a *junta aberta* que responde perfeitamente às deformações dos elementos descontínuos, mas tem um fraco desempenho de estanquidade à água. O desempenho de estanquidade

pode ser melhorado executando um labirinto nas superfícies de interface das juntas que dificultam o percurso da água mas, no caso de situações meteorológicas adversas com chuva e vento, a sua estanquidade continua a ser limitada.

As *juntas sobrepostas* constituem uma solução melhorada relativamente às anteriores. A estanquidade é garantida pela criação de um obstáculo no percurso da água pela junta. Esse obstáculo pode ser consumado pelo desencontro dos bordos dos elementos descontínuos, uma das primeiras soluções utilizadas também conhecida por “escamas”, ou pela utilização de encaixes que criam degraus que dificultam o seu percurso.

A última hipótese é a introdução de um *perfil de junta* que impede a entrada da água, ou interrompe o percurso da mesma. Esta solução é muito utilizada sobretudo quando a fixação é feita por um perfil contínuo que suporta e fixa os elementos descontínuos. Estas soluções tanto têm um desempenho de suporte do revestimento, como de estanquidade.

Para além das formas que as juntas devem tomar, as suas dimensões também são essenciais para uma boa estanquidade. Existem dois aspectos, já mencionados, que limitam a largura das juntas sem preenchimento. A largura mínima é limitada pela necessidade que as peças têm de se deformar e a largura máxima é determinada de modo a que o seu desempenho de estanquidade não seja comprometido. Para além destas exigências funcionais, as juntas devem ser capazes de absorver erros de fabrico que são de grande importância em sistemas modulares como a fachada ventilada.

Como referência são usados os seguintes valores [N6]:

- Largura mínima – 6 mm;
- Largura máxima – 25 mm.

No entanto, existe a excepção em que a largura pode ter o mínimo de 3 mm nos locais de fixação como representa a figura 2.12 a). Quando esses elementos fixadores são de grande espessura é permitido executar um entalhe ou encaixe no revestimento que permite o cumprimento das larguras mínimas de juntas, como é apresentado na figura 2.12 b) [N6].

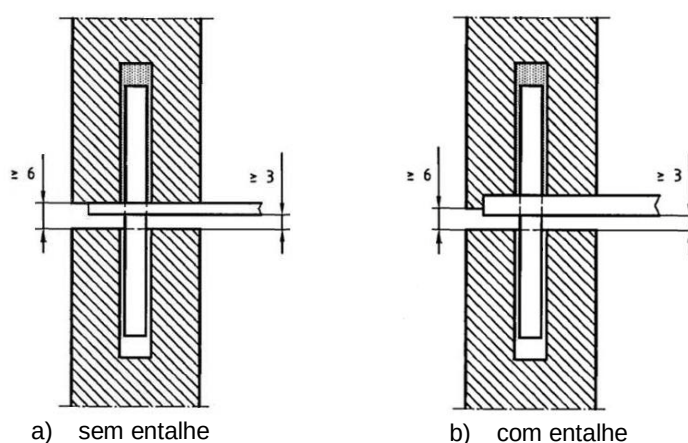


Figura 2.12 – Larguras mínimas de junta simples [N6]

Após ter sido feita uma descrição genérica dos aspectos mais relevantes na concepção de um revestimento, é preciso olhar para a composição dos elementos descontínuos que vão condicionar todos os aspectos referidos até agora. Os materiais que compõem o revestimento vão limitar as dimensões, as formas e a fixação a utilizar. Para melhor entender essa relação, são em seguida

apresentadas para cada material, as formas que podem tomar e as respectivas fixações a aplicar em cada situação, estando de forma resumida no quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Formas e fixações para os diversos materiais de revestimento

Material	Superfície	Forma	Fixação
Pedra natural	Planas	Rectangular	– Ancoragem por cavilhas – Ancoragem por grampos – Ancoragem linear – Ancoragem no tardo – Ancoragem com discos
		“Escama” Poligonal Soletos de ardósia	– Parafusos ou pregos
Betões	Planas	Rectangular Poligonal	– Ancoragem por cavilhas – Ancoragem por grampos – Ancoragem linear – Ancoragem no tardo
	Perfiladas	Nervurada	– Ancoragem por cavilhas – Ancoragem no tardo
Naturomimento	Planas	Rectangular Poligonal	– Ancoragem por cavilhas – Ancoragem por grampos – Ancoragem linear – Ancoragem no tardo
	Perfiladas	Com/Sem arestas	– Fixação por parafusos, pregos ou rebites
	Réguas ou Lâmina	Simples	
Metal	Planas	Rectangular	– Fixação por parafusos, pregos ou rebites – Moldura – Sistema de encaixe
		“Escama” Poligonal	
	Curvas	Simples Ondulada Dupla curvatura	– Fixação por parafusos, pregos ou rebites
	Perfiladas	Nervura Com/Sem arestas	
	Perfuradas	Furada Grelha Malha	

Quadro 2.2 – Formas e fixações para os diversos materiais de revestimento (continuação)

Material	Superfície	Forma	Fixação
Metal	Réguas ou Lâmina	Simples Nervurada	– Fixação por parafusos, pregos ou rebites – Sistema de encaixe – Fixação de lâminas
		Aerodinâmica Asa	– Fixação de lâminas
Cerâmico	Planas	Rectangular	– Ancoragem por grampos – Ancoragem linear – Sistema de encaixe
		“Escama” Poligonal	– Ancoragem no tardo
	Réguas ou Lâminas	Simples	– Ancoragem por grampos – Ancoragem linear – Fixação de lâminas
Fenólico	Planas	Rectangular	– Fixação por parafusos – Ancoragem no tardo – Ancoragem por grampos
Madeira	Planas	Rectangular “Escama” Poligonal	– Fixação por parafusos, pregos ou rebites
	Réguas ou Lâminas	Simples	
Vidro	Planas	Rectangular	– Moldura ou caixilharia – Ancoragem no tardo
	Curvas	Simples Ondulada Dupla curvatura	– Ancoragem no tardo
	Réguas ou Lâminas	Simples	– Fixação para lâminas
Plástico	Planas	Rectangular “Escama” Poligonal	– Moldura ou caixilharia – Ancoragem no tardo – Fixação por parafusos
	Curvas	Simples Ondulada Dupla curvatura	– Ancoragem no tardo – Fixação por parafusos
	Perfiladas	Com/Sem arestas	– Fixação por parafusos
	Réguas ou Lâminas	Simples	– Fixação para lâminas

2.5. REVESTIMENTOS

Desenvolvem-se em seguida, com maior detalhe, as diversas soluções de fachada para os variados tipos de materiais disponíveis no mercado. Em primeiro lugar abordam-se as fachadas ventiladas em pedra, o sistema mais tradicional e já muito difundido em Portugal. Depois apresentam-se os restantes materiais com novas soluções de estéticas inovadoras e em busca de melhores desempenhos funcionais e ecológicos. Esta apresentação centra-se nos elementos de revestimento.

2.5.1. PEDRA NATURAL

A fixação mecânica de revestimentos em pedra natural surge como uma solução alternativa à colagem. Este sistema recorre a dispositivos, geralmente metálicos, para inserção em ranhuras ou furações que são realizadas nas placas. Os sistemas de fixação criam uma caixa-de-ar transformando a parede exterior, quando convenientemente dimensionada, numa fachada ventilada [11]. No entanto, existem duas formas de fixação mecânica em que este enquadramento não se adequa, as ancoragens com agramos ou com arames. A ancoragem com agramos não permite a realização de uma caixa-de-ar e na ancoragem com arames esse espaçamento é demasiado pequeno para permitir a ventilação, para além de necessitar de uma colagem com produtos cimentícios, fugindo ao conceito de pré-fabricação muito presente nas fachadas ventiladas.

As rochas mais utilizadas em Portugal no revestimento de fachadas ventiladas são (figura 2.13) [6]:

- Granito;
- Basalto;
- Calcário;
- Mármore;
- Ardósia.



Figura 2.13 – Texturas de rochas: granito, basalto, calcário, mármore e ardósia [12;13;14;15;16]

Para além das texturas naturais das rochas, o tipo de acabamento das superfícies das placas de revestimento também é um aspecto importante na estética de uma fachada.

Os tratamentos mais utilizados são o *polido*, o *areado*, o *amaciado*, o *flamejado* e ainda o acabamento *bujardado*. Estes tratamentos devem ser aplicados de acordo com a “sensibilidade” da pedra. Na figura 2.14, o diagrama ilustra os cinco tipos de acabamentos mencionados e a sua aplicabilidade a cada pedra [11].

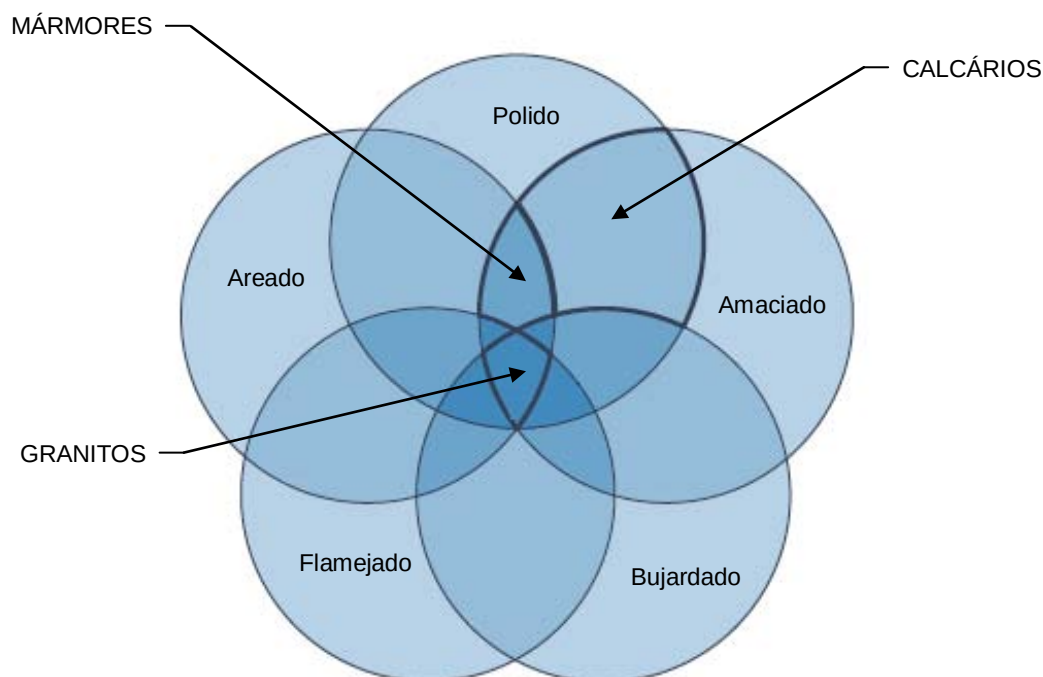


Figura 2.14 – Principais tipos de acabamento em granitos, calcários e mármore [11]

Observando a figura 2.14, pode-se concluir que apenas aos granitos se podem aplicar os cinco tipos de acabamentos referidos. Dos mármore, é difícil obter um resultado aceitável com acabamentos do tipo *flamejado* ou *bujardado*. Aos calcários, em geral, apenas se aplica o acabamento *amaciado* e *polido* [11].

Após terem sido abordadas as várias rochas utilizadas em fachadas ventiladas e os seus respectivos tratamentos, apresentam-se em seguida as formas de fixação utilizadas. O primeiro aspecto a ter em conta na fixação de elementos de pedra é esta ser uma matéria natural que é “a posteriori” moldada no produto pretendido, em placas para revestimento exterior. Sendo as formas utilizadas em geral as superfícies planas da figura 2.10, o aspecto mais importante é a execução dos tipos de furação nas placas para receber os dispositivos de ancoragem.

Podem-se ter as seguintes três soluções (figura 2.15) [11]:

- Furação com broca *cilíndrica*, para inserção de cavilha ou, no tardo da pedra, para inserção de bucha metálica expansiva;
- *Entalhe* ou *ranhura*, para suporte ao longo de todo o bordo de apoio ou em parte, com cantoneira ou em T;
- Corte de *ranhura circular* ou *prismática*, para apoio com discos.

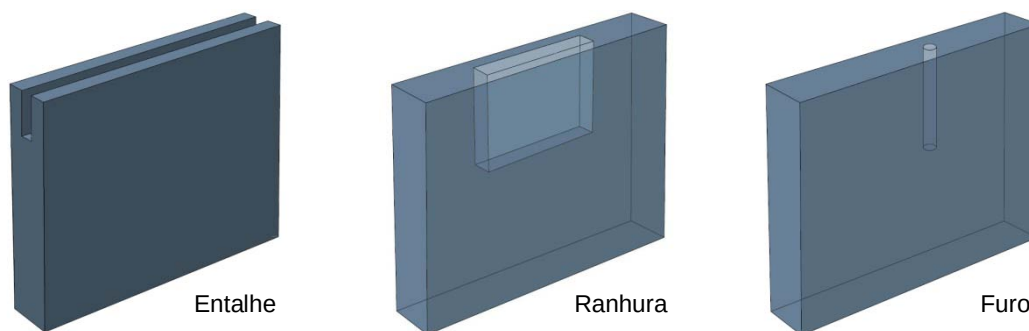


Figura 2.15 – Furação com ranhura, contínua ou descontínua, e furação circular [11]

Existem vários sistemas de fixação que recorrem ou não a este tipo de furação. Esses sistemas devem ser utilizados dependendo das dimensões e pesos próprios das placas que se deseja aplicar na fachada. Outro aspecto relevante é o impacto visual dessa fixação, podendo ser um sistema à vista ou oculto.

Os sistemas de fixação são em seguida apresentados em dois grupos, as placas rectangulares aplicadas na vertical com junta de topo e as de elementos com formas variadas aplicadas em “escama”, com sobreposição dos elementos de revestimento.

A primeira solução, a mais utilizada, é a que apresenta uma maior variedade de sistemas de fixação. Neste grupo pode-se ter sistemas de fixação visível, como a ancoragem por grampos (figura 2.16), ou sistemas de fixação oculta, como a ancoragem por cavilhas, a ancoragem linear, a ancoragem no tardo e a ancoragem com discos.



Figura 2.16 – Ancoragem por grampos [17]

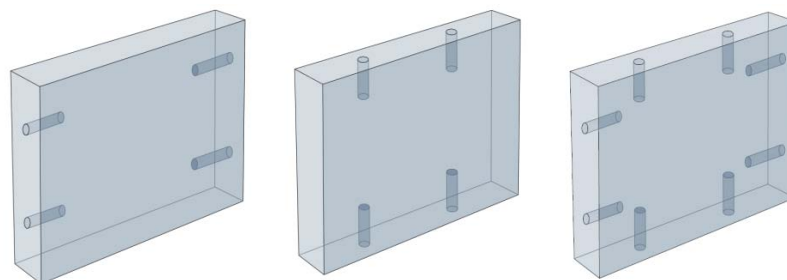
Tirando o sistema de ancoragem por grampos, todos os outros necessitam da realização de furação nas placas de revestimento, sendo as soluções utilizadas de furação as representadas na figura 2.17.

Em seguida é feita uma breve descrição das diversas soluções de fixação de placas com juntas de topo. A apresentação mais pormenorizada é feita no subcapítulo sobre fixação no qual estão representados todos os componentes e a sua montagem, ficando aqui apenas uma pequena menção.

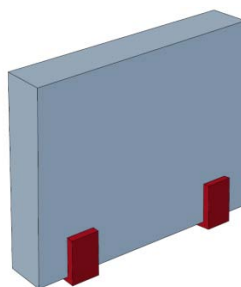
Os sistemas de fixação de placas de topo são:

- a) **Ancoragem por cavilhas** – Este tipo de ancoragem tem a sua aplicação orientada para placas de dimensões até cerca de 1 m. A ancoragem por cavilhas é realizada com a inserção de 4 espigas lisas metálicas nos bordos, a meia espessura das placas. Os eixos das furações tanto podem ficar posicionados na vertical como na horizontal. Por sua vez, as cavilhas são ajustadas a pernos também cilíndricos de maior diâmetro [11].
- b) **Ancoragem por grampos** – Este sistema é aquele em que o tipo de encaixe para fixar o painel aos perfis é visível desde o exterior. Normalmente, neste tipo de sistemas, utilizam-se grampos de aço inoxidável que seguram o painel unindo-o ao perfil metálico, lacados à mesma cor que o próprio revestimento, com o objectivo de reduzir o impacto visual e estético [18].
- c) **Ancoragem linear** – As ancoragens designam-se por lineares quando a transmissão das forças ao apoio é realizada ao longo de um comprimento suficientemente grande quando comparado com a espessura das placas. A fixação das placas à estrutura de apoio é obtida por meio de inserção de perfis metálicos ao longo de um rasgo realizado a meia espessura das placas, ficando estas simplesmente apoiadas para as acções horizontais. Esta é uma solução com grande aplicação nos países da América do Norte, onde são usadas placas com dimensões e espessuras relativamente grandes (superiores a 1m e a 20 mm, respectivamente) [11;18].
- d) **Ancoragem no tardo** – Existem algumas soluções em que a ancoragem das placas é realizada por furações no seu tardo. Essas soluções têm por base dois conceitos. O que tem tido maior desenvolvimento em países como a Alemanha, o Reino Unido, os Estados Unidos da América e o Canadá, é a solução que consiste em efectuar 4 furações na face posterior das placas com um diâmetro alargado na base do furo (undercut), onde são fixados pernos roscados com cabeça ajustável [11]. A outra solução é a realização, no dorso da peça, de rasgos que permitem a colocação de elementos de aço que estabelecem a ligação com a subestrutura de suporte do revestimento. Estas soluções são muito utilizadas para fixação de placas de pequena espessura, em especial quando se pretende uma fixação oculta e não é possível executar o entalhe para uma ancoragem linear [18].
- e) **Ancoragem com discos** – A ancoragem com discos é uma ancoragem que é utilizada para fixação de placas de maiores dimensões e, portanto, com maior peso próprio e solicitação pelas acções horizontais. Este tipo de ancoragem, embora pouco utilizado na Europa, tem sido adoptado nos Estados Unidos e Canadá. A furação tem a forma circular da serra, acomodando discos (bolachas) com espessura adequada, que são dimensionadas em aço para receber os esforços [11].

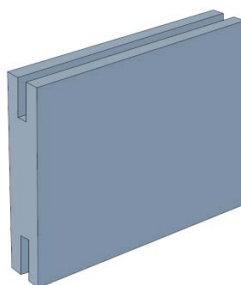
Cavilhas



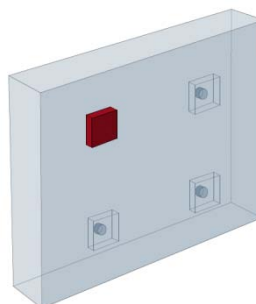
Grampos



Linear



Tardoz



Discos

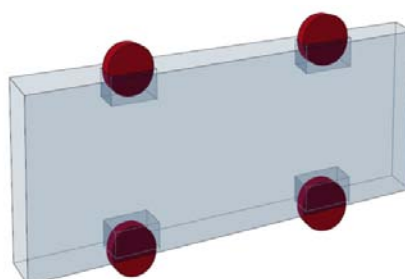


Figura 2.17 – Tipos de furação para cada sistema de fixação

Por fim, são apresentadas os sistemas de fixação em “escama” que se resumem a duas soluções, ancoragem por grampos de placas rectangulares e a fachada tradicional em soletos de ardósia (figura 2.18).

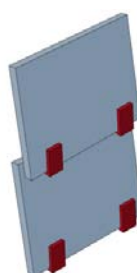


Figura 2.18 – Fachada em soletos de ardósia [19]

Os sistemas de fixação para soluções em “escama”, representados na figura 2.19, são os seguintes:

- a) **Ancoragem por grampos** – Este sistema é em tudo similar ao aplicado quando as juntas são de topo. A única diferença é a forma do grampo que permite uma sobreposição entre as placas [18].
- b) **Soletos de ardósia** – Um dos sistemas mais antigos utilizados em Portugal, que inclui uma caixa-de-ar ventilada. O principal objectivo subjacente na concepção desta fachada é a estanquidade. Os soletos são sobrepostos para dificultar a entrada da água das chuvas e cada linha de soletos encontra-se desfasada das adjacentes de forma a proteger as juntas verticais entre elementos. Os soletos podem ter diversas formas tais como “escama” (figura 2.18) ou uma forma poligonal, sendo fixados através de parafusos ou pregos a uma estrutura tradicionalmente em madeira, constituída por varas e ripas, fixas ao suporte.

Grampos



Soletos de
ardósia

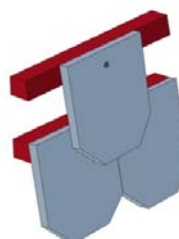


Figura 2.19 – Sistemas de fixação em “escama”

2.5.2. BETÃO

Ao contrário da pedra natural, o betão é uma pedra artificial que pode ser fabricada através de diferentes moldes. Os moldes devem ser concebidos de modo a permitirem uma betonagem e descofragem fáceis, podendo ser desenhados de forma a assegurarem no final diferentes acabamentos lisos. As dimensões vão desde pequenas dimensões tipo ladrilhos até painéis de grandes dimensões. As superfícies são na generalidade planas, sendo o aspecto mais inovador dos painéis de betão, a variedade de cores e texturas disponíveis no mercado (figura 2.20).



Figura 2.20 – Fachada ventilada em betão polímero [20]

Um dos aspectos mais desfavoráveis da utilização de painéis em betão de grandes dimensões é o seu peso próprio. Para reduzir o peso das placas existem duas abordagens distintas, a redução de volume de material, diminuindo a espessura ou introduzindo alvéolos, ou a alteração da composição do betão, reduzindo a sua massa volúmica ou aumentando a sua resistência. As soluções disponíveis no mercado tendo em conta a composição do betão são as seguintes:

- a) **Betão tradicional** – Os painéis são constituídos por betão corrente, podendo ser completamente maciços ou alveolados.
- b) **Betão polímero** – O betão polímero é um material composto por diferentes tipos de areias ligadas mediante resinas de poliéster, conseguindo apresentar boas características físico-mecânicas para revestimento de fachadas ventiladas. Este aspecto melhora ainda a estanquidade do betão relativamente ao tradicional, sendo a percentagem de absorção de água reduzida. Também apresenta melhor comportamento face aos ciclos de congelação-degelo e às acções químicas. A sua resistência mecânica é superior ao betão corrente permitindo a produção de elementos mais leves e com dimensões reduzidas, facilitando o transporte e a colocação em obra. As areias utilizadas nos pré-fabricados de betão polímero são a sílica e o quartzo [20].
- c) **Betão de agregado leve** – Os agregados leves, quando usados no betão, permitem assegurar massas volúmicas substancialmente inferiores às do betão normal. Podem ter origem natural ou artificial. Geralmente os agregados leves de origem natural são rochas ígneas extrusivas ou vulcânicas, tais como a pedra-pomes. Dentro dos agregados artificiais, o que tem maior utilização é a argila expandida [21], que resulta duma mistura de argila com substâncias como a pirite ou a dolomite que lhe conferem uma maior expansibilidade. Esta preferência deve-se sobretudo à crescente importância da utilização

de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). O outro agregado artificial também muito utilizado é o EPS (poliestireno expandido).

- d) **Betão celular** – O betão celular obtém-se pela mistura cuidadosamente doseada de cal, cimento, areia de sílica, aditivos e água. No final da sua amassadura, adiciona-se pó de alumínio. Este provoca a libertação de gases dando origem à sua estrutura molecular característica. Este betão permite a criação de grandes painéis que podem atingir os 6 m de comprimento.
- e) **GRC** – O Betão Reforçado com Fibra de Vidro (GRC), *Glassfibre Reinforced Concrete*, é um material compósito, constituído por uma matriz de cimento e agregados de pequenas dimensões, reforçada pela presença de fibras de vidro dispostas aleatoriamente na matriz de cimento. No betão, quando sujeito a esforços de tracção, a presença das fibras permite retardar o aparecimento de fissuras e ampliar a resistência da matriz após a sua fissuração. Deste modo, o GRC apresenta uma boa capacidade de absorção de deformações e uma considerável resistência a esforços de tracção, flexão e impacto. No entanto existe uma incompatibilidade química entre os álcalis do cimento e as fibras de vidro que pode ser resolvida de duas formas, através da utilização de cimentos de baixa alcalinidade ou pela introdução de cimentos com adição de polímeros. O betão GRC é muito utilizado em painéis de fachada, devido à possibilidade de produção de elementos de reduzida espessura e grandes dimensões [22].

Para além da diversidade de cores, os painéis de betão podem apresentar diferentes tipos de acabamentos e texturas como os apresentados na figura 2.21. Os painéis de GRC também propiciam a utilização de formas de geometria complexa e não apenas os simples painéis rectangulares [22].



Figura 2.21 – Cores, texturas e formas do betão polímero [20]

Os betões mais utilizados são o polímero e o GRC. O betão polímero, para além de apresentar melhores características de durabilidade, apresenta diversidade de soluções de acabamento com estéticas agradáveis. O betão GRC permite a execução de painéis de grandes dimensões que o betão polímero não permite, e maior versatilidade de formas.

As soluções mais comuns de painéis e suas fixações estão presentes no quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Formas e fixações para revestimentos em betão

Composição	Forma	Fixação
Betão tradicional	– Painel simples – Painel alveolar	– Ancoragem por cavilhas – Ancoragem por grampos
Polímero	– Painel simples	– Ancoragem linear
Betão leve (agregado leve; betão celular)	– Painel simples	– Ancoragem no tardo
GRC	– Painel simples	– Ancoragem por cavilhas
	– Painel nervurado	– Ancoragem no tardo
	– Painel “stud-frame”	– Ancoragem no tardo

As soluções de fixação são semelhantes às apresentadas para os revestimentos em pedra, não sendo necessário realizar nova descrição. Na figura 2.22 estão representadas as soluções típicas de painéis de betão, segundo as formas mencionadas no quadro 2.3.

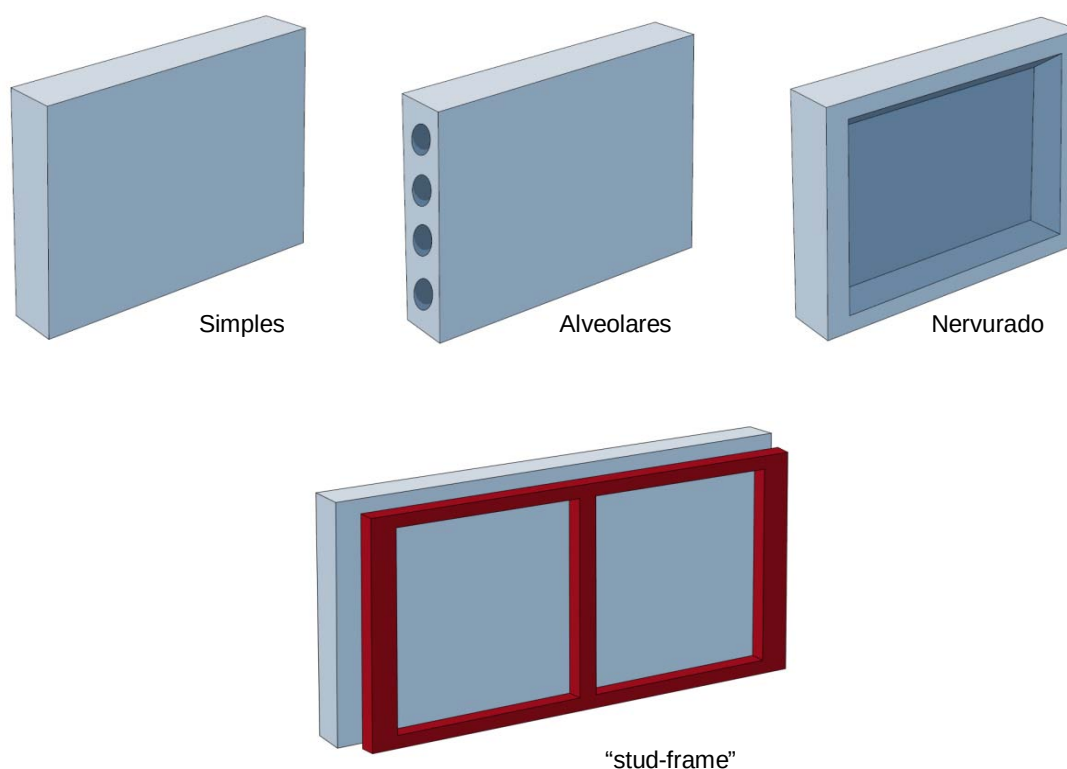


Figura 2.22 – Formas para painéis de betão

O *painel simples* é a solução mais corrente. Pode ser aplicada em diversas dimensões e espessuras, sendo estas condicionadas pela composição do betão utilizado. Os painéis em betão polímero têm normalmente espessuras de 14 mm e dimensões entre 250×250 mm e 1800×900 mm [20]. As soluções em betão corrente e betão leve não são muito comuns em fachadas ventiladas, não havendo muita informação sobre a sua utilização. No entanto podem ser adoptadas dimensões para o betão corrente semelhantes ao betão polímero. O betão leve permite dimensões maiores, em especial o betão celular, podendo cobrir a altura de piso. A última solução é o painel simples em GRC, formado por uma lâmina de reduzida espessura, de 10 a 15 mm, sendo utilizado, habitualmente, na produção de peças planas de pequenas dimensões [22]. Esta solução pode necessitar da existência de saliências que aumentam a rigidez do painel e permitem a sua fixação através de ancoragem por cavilhas (figura 2.23).

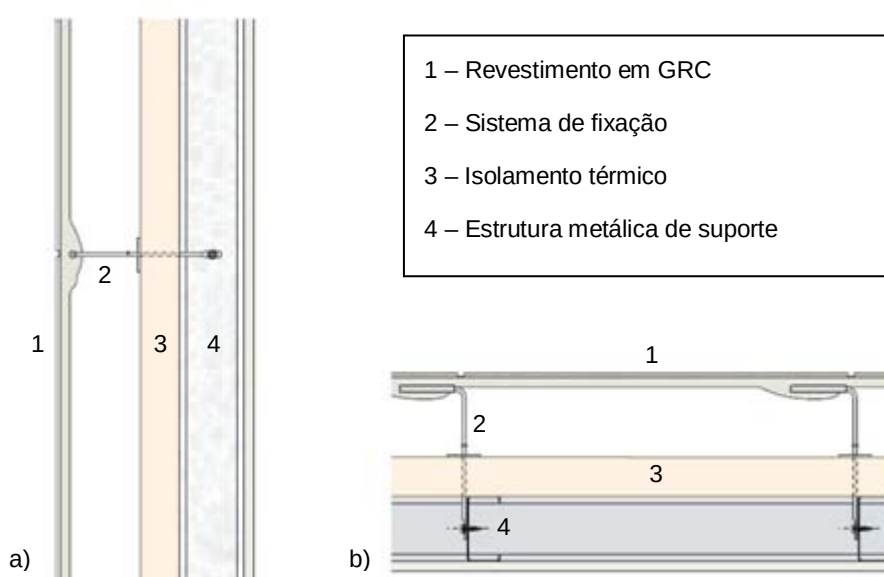


Figura 2.23 – Pormenor da fixação de painéis simples em GRC – a) corte vertical; b) corte horizontal [23]

Quanto aos *painéis alveolares*, trata-se de uma solução pesada de fachada que não é normalmente associada a fachada ventilada. No entanto pode ser aplicada, devendo ter-se especial preocupação na fixação dos elementos de grandes dimensões. Os painéis estão armados com varões pré-esforçados, de modo a resistirem não só aos esforços ao longo da vida (acção do vento), mas também aos esforços provocados pelo seu transporte e colocação na obra. Podem ser colocados de forma horizontal ou vertical. A sua largura é constante (1, 20 m) e as espessuras são superiores a 120 mm e possuem encaixes do tipo macho/fêmea [24].

O *painel nervurado* tem como principal objectivo o aumento de rigidez. Esta solução é especialmente utilizada para os painéis em betão de GRC devido à reduzida espessura, mínimo 10 mm, e grandes dimensões que podem levar a deformações exageradas. Para além desta função, estas nervuras (de poliestireno) são usadas para a fixação dos painéis. Esta solução de painel apresenta dimensões máximas de 2000×3000 mm, as nervuras devem estar distanciadas no máximo de 1000 mm e as suas dimensões das nervuras devem estar compreendidas entre 20 e 100 mm, dependendo das dimensões do painel [25].

Convém mencionar que o sistema de fachada GRC em *painel nervurado* é pensado para ter as juntas preenchidas, sem ventilação na caixa-de-ar, e com projecção de isolante no tardo de dos painéis. É por esta razão que as nervuras são em poliestireno que, para além de ser um material leve, também complementa o isolamento projectado no tardo de, desenquadrando-se desta forma das fachadas ventiladas. No entanto, nada impede que os painéis sejam usados com juntas abertas, permitindo a ventilação da caixa-de-ar.

A outra solução para o betão GRC, com o propósito de aumentar a rigidez, é o *painel “stud-frame”*. Esta solução, em vez de nervuras, é reforçada por uma estrutura metálica no tardo de. A espessura mínima é na mesma de cerca de 10 mm e os elementos metálicos, tanto os verticais como os horizontais, devem estar distanciados no máximo de 600 mm a eixo. O painel “stud-frame” permite a realização de painéis de dimensões superiores à solução com nervuras [25]. A estrutura metálica, para além da função mencionada, também facilita a fixação do painel (figura 2.24).



Figura 2.24 – Pormenor da fixação de painéis simples em GRC [22]

Existe uma solução em betão GRC que não é mencionada no quadro 2.3, e que existe no mercado, o *painel sandwich* [22]. Este painel é uma variante do painel nervurado, em que as faces interiores das nervuras se generalizam a toda a superfície, permitindo a inclusão de placas de material isolante entre as faces de GRC. A sua aplicação tem pouco interesse numa fachada ventilada, visto a existência de isolante térmico na placa de revestimento não contribuir para o isolamento da parede, pois a caixa-de-ar é ventilada.

2.5.3. NATUROCIMENTO

O naturocimento surge como resposta às preocupações ecológicas globais, apoiadas numa tecnologia de vanguarda e coerente com as políticas de desenvolvimento sustentável, pois exige um baixo consumo de recursos naturais. É constituído por cimento Portland, fibras de reforço em PVA (álcool polivinílico), fibras de celulose, sílica amorfa, aditivos e água [26]. O naturocimento veio substituir o

fibrocimento tradicional, sendo este novo material isento de amianto que libertava poeiras prejudiciais à saúde.

Quando o enquadramento arquitectónico dos edifícios exige um acabamento com qualidade estética, os painéis em naturocimento podem ser coloridos e apresentar outras texturas, para além da lisa (figura 2.25).



Figura 2.25 – Texturas de acabamento: liso, areado e a imitar a madeira [27]

Existem duas formas de coloração. Uma hipótese é a coloração efectuada em fresco, mediante a projecção de pigmentos metálicos sobre a camada superior e acabamento com pintura final. Desta forma, garante-se uma coloração uniforme e duradoura [26]. Existem até painéis nesta solução em que o acabamento imita a estrutura da madeira com dimensões tipo lâmina dando a perfeita ilusão de se tratar de madeira real (figura 2.26). A outra hipótese é a coloração na própria massa do painel [27].



Figura 2.26 – Fachadas ventiladas em naturocimento em placa (esq.) e lâmina (dir.) [28]

O naturocimento é um material mais versátil que o betão, sendo possível ser utilizado em painéis planos, curvos, perfilados e até em forma de lâmina. No entanto, as dimensões mais comuns de elementos de revestimento em naturocimento são os *painéis rectangulares*, as *lâminas* imitando a madeira (figura 2.26) e as soluções *perfiladas* que normalmente são usadas em coberturas (figura 2.27), mas também podem ser utilizadas em fachada [28].



Figura 2.27 – Chapas perfiladas em naturocimento [28]

As chapas *perfiladas* em naturocimento têm espessuras de 6,5 mm, uma largura constante de 1000 mm e comprimentos entre 1250 e 3000 mm [28].

Podem ser fabricadas peças singulares, como de canto ou de remate, que permitem a eliminação de pontos singulares que outros materiais como a pedra e o betão não permitem (figura 2.28).

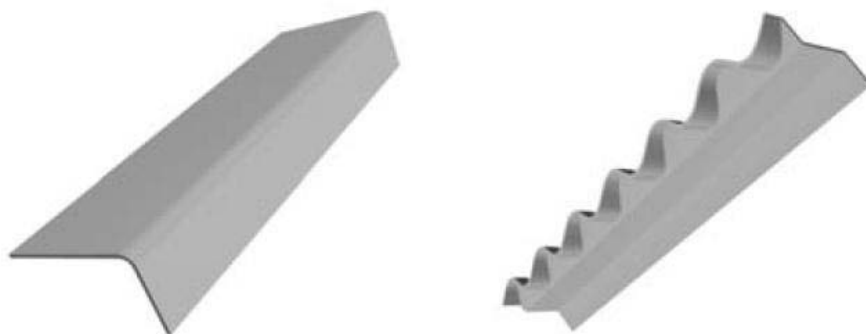


Figura 2.28 – Peças singulares em naturocimento [28]

Para além de todas as fixações aplicáveis ao betão, as placas em naturocimento podem ainda ser fixadas com parafusos, se os elementos de revestimento apresentarem reduzidas espessuras.

2.5.4. METAL

O metal é um material já com um grande historial, em especial na execução de coberturas. Com o aparecimento dos revestimentos de fachada fixados mecanicamente, a grande maleabilidade e plasticidade dos elementos metálicos tornou-se em mais um campo de aplicabilidade para este material. Os metais mais utilizados para fachada são:

- Aço inoxidável;
- Alumínio;
- Cobre;
- Zinco;
- Titânio;
- Liga titânio-zinco.

O *cobre* é um material utilizado em coberturas e revestimentos, que se agrafa com facilidade de forma mecânica ou manual, na obra ou na oficina, de forma a se adaptar a qualquer forma incluindo curvas e remates complexos. É um metal fino e muito maleável com grande aptidão para obter juntas muito finas, permitindo que revestimentos de grandes dimensões e de diferentes formas geométricas sejam executados com grande qualidade e pareçam superfícies contínuas. Com este material o arquitecto tem uma enorme liberdade, sem praticamente limitações para criar os efeitos [29].

O *zinco* também é um material muito popular devido à sua durabilidade, isenção de manutenção e a possibilidade de apresentar formas complicadas. Esteticamente é um material neutro que se harmoniza bem com outros materiais usados na construção e satisfaz todas as exigências ecológicas dos tempos actuais. O aspecto brilhante que o zinco possui à saída da laminagem, face à exposição ao meio ambiente, vai-se gradualmente transformando numa tonalidade mate acinzentada. É o resultado da formação de uma patina de carbonato básico de zinco na superfície do metal [29].

Apesar do historial do *cobre* e do *zinco*, os materiais preferidos e com maior aplicação em fachadas ventiladas são o *aço inoxidável* e o *alumínio*.

O *aço inoxidável* é um material que tem como principal vantagem a resistência à corrosão.

O *alumínio* está disponível em variadas cores e acabamentos. É um material leve, resistente e durável. A sua maleabilidade é a característica que dá aos painéis deste material uma grande facilidade de conformação e agilidade de montagem.



Figura 2.29 – Fachada em aço inoxidável (esq.) e em alumínio (dir.) [30;1]

A característica mais relevante do metal como material de revestimento é a sua plasticidade aquando da sua moldagem. Esta propriedade permite criar uma infinidade de formas desde painéis lisos, estampados, perfurados, perfilados ou de superfícies curvas.

Como acabamento de painéis simples (uma única camada de metal) podem-se ter desde superfícies baças até espelhadas. Nestas últimas deve-se ter especial cuidado com o reflexo do Sol, que poderá perturbar os edifícios em redor. Para o alumínio existe também a possibilidade de ser colorido.

Os painéis estampados são soluções muito interessantes quando se pretende um acabamento para além do liso, havendo variadas formas e padrões (figura 2.29). Estes painéis apresentam pequenas espessuras e dimensões que podem ser reduzidas ou grandes.



Figura 2.30 – Painéis metálicos estampados [31]

Os revestimentos metálicos podem também ser perfurados segundo três tipologias: *painéis furados*, em *grelha* ou em *malha*. As soluções em *painéis furados* ou em *grelha* podem apresentar diferentes formas de furação como redondas ou outra qualquer forma geométrica, com espessuras superiores aos painéis estampados porque os furos reduzem a sua resistência. As *malhas* podem apresentar espessuras variadas desde 3 mm até 35 mm, dependendo do seu desenho.

A desvantagem da aplicação deste tipo de superfícies é o fraco desempenho em termos de estanquidade à água quando utilizadas numa fachada ventilada. Este aspecto pode ser melhorado para os *painéis furados* ou em *malha* se tiverem uma concepção adequada, em que as pequenas aberturas nos painéis sejam auto-protegidas (figura 2.30).

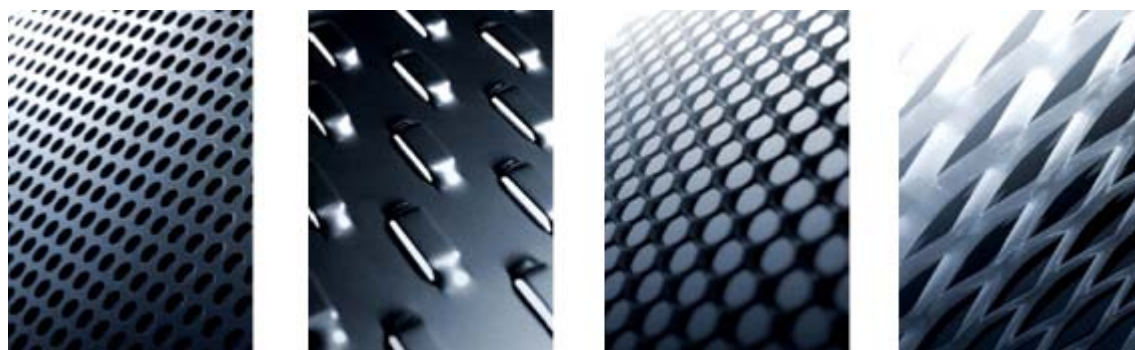


Figura 2.31 – Painéis metálicos furados (duas da esq.) e em rede (duas da dir.) [31]

Existem ainda os painéis perfilados que são muito utilizados em edifícios industriais (figura 2.31). Estes painéis são utilizados por motivos estéticos mas, se aplicados em superfícies inclinadas e com a orientação correcta, podem ser interessantes para o escoamento das águas da chuva.



Figura 2.32 – Painéis metálicos perfilados com e sem arestas [32]

Todas as formas e acabamentos apresentados acima orientam-se essencialmente para a estética da fachada. No entanto, surgiram novas soluções com o objectivo de reduzir o peso dos painéis sem reduzir a sua rigidez, de forma a evitar deformações exageradas. As soluções são o painel tricamada e o painel em favo [33;34].

O painel tricamada reduz o peso próprio através da introdução de um núcleo mineral ou em polietileno. Estes materiais apresentam pesos volúmicos muito inferiores ao metal. As espessuras são semelhantes às soluções simples totalmente em metal, entre os 3 e os 5 mm.

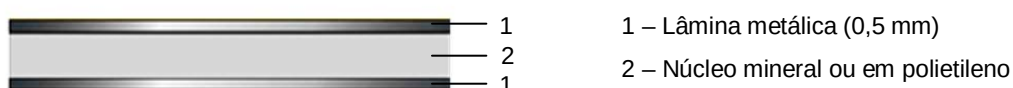


Figura 2.33 – Painel tricamada [33]

O painel em favo é uma solução semelhante ao painel tricamada, sendo a diferença entre ambos a constituição do núcleo entre os dois revestimentos metálicos. Este painel, em vez de estar completamente preenchido por um material de reduzido peso volúmico, tem uma estrutura metálica em forma de favo (figura 2.34). Esta solução produz um grande número de vazios no interior do painel, tornando-o muito leve, e a forma em favo confere-lhe rigidez. O material utilizado para esta solução é o alumínio devido à sua grande plasticidade na realização da estrutura em favo. No entanto, as espessuras desta solução são superiores à anterior, podendo situar-se entre os 6 mm até 25 mm.

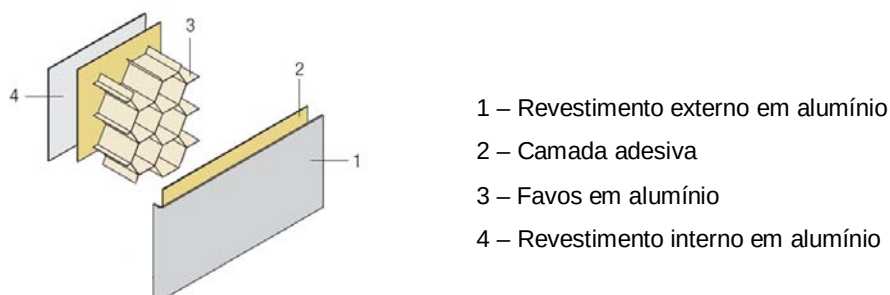
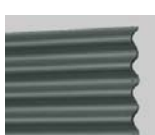


Figura 2.34 – Painel em favo [34]

Existe uma última solução passível de ser aplicada tanto aos painéis simples como ao tricamada e ao painel em favo, o sistema *Cassette*. Este sistema não é mais que a criação de uma nervura através da dobra dos bordos do painel. Esta nervura tem duas funções importantes no comportamento do painel, aumenta a rigidez e permite a ocultação do sistema de fixação.

Quadro 2.4 – Formas e fixações para revestimentos metálicos

Forma	Fixação	
Painel simples		
Painel tricamada		– Fixação por parafusos, pregos ou rebites – Moldura – Sistema de encaixe
Painel em favo		
Painel Cassette		– Fixação por parafusos, pregos ou rebites – Sistema de encaixe
Painel perfilado		– Fixação por parafusos, pregos ou rebites
Painel perfurado		

No quadro 2.4 estão presentes os sistemas de fixação aplicados a cada tipo de painel.

Como o metal é já um material muito utilizado nas proteções solares, a sua generalização para a restante fachada foi uma questão de tempo. A fusão entre a fachada ventilada e as protecções solares é uma solução muito do gosto dos arquitectos, criando um revestimento contínuo sem a interrupção das aberturas como as janelas (figura 2.35).

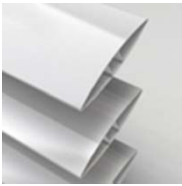


Figura 2.35 – Fachada ventilada metálica em lâmina [1]

A grande inovação nestes sistemas é a possibilidade de as lâminas poderem ser móveis, podendo estar abertas no Verão, e fechadas em dias de chuva e vento.

As soluções mais aplicadas e as suas formas de fixação estão presentes no quadro 2.5.

Quadro 2.5 – Formas e fixações para revestimentos metálicos em lâmina

Forma	Fixação
Lâmina simples 	– Fixação por parafusos – Sistema de encaixe – Fixação para lâminas fixas – Fixação para lâminas móveis
Lâmina em Z 	– Fixação para lâminas fixas – Fixação para lâminas móveis
Lâmina aerodinâmica 	

2.5.5. CERÂMICOS

Os ladrilhos cerâmicos são uma solução de revestimento muito tradicional em Portugal. Este revestimento de fachada apresenta-se vantajoso tanto do ponto de vista técnico e económico como estético, com especial predilecção pelas fachadas em azulejos decorados. Com o surgimento das fachadas com fixação mecânica, a implementação dos cerâmicos em fachadas deste tipo foi um passo natural.

Existem dois processos de fabrico de revestimentos cerâmicos: a extrusão e a prensagem a seco.

A cerâmica extrudida é conformada no estado plástico por uma extrusora, sendo a coluna obtida cortada em peças de dimensões pré-determinadas [N5]. Os cerâmicos obtidos por este processo são: o grés extrudido, o Klinker, a Terracota e a tijoleira rústica [35].

As soluções com prensagem a seco são conformadas a partir de uma mistura finamente moída, conformada por prensagem em moldes [N5]. Por este processo obtêm-se: o grés porcelânico, os revestimentos de monocozedura e o azulejo [35].

Os elementos de revestimento cerâmicos apresentam reduzidas dimensões, denominados por ladrilhos. Existem novas soluções no mercado internacional onde se desenvolvem cerâmicos em forma de régua ou lâmina, para fachadas ventiladas ou protecções solares, podendo a sua fixação ser fixa ou móvel, à semelhança de algumas soluções em metal (figura 2.36).

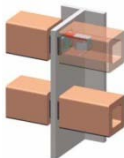
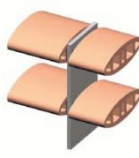


Figura 2.36 – Fachada ventilada em painéis cerâmicos (esq.) e lâminas cerâmicas (dir.) [1]

As fixações mais utilizadas para este tipo de material são a ancoragem por grampos, linear, no tardo ou por sistemas de encaixe. A ancoragem no tardo pode ser fixada por parafusos ou por uma solução mista de parafusos com reforço de cola. Estas fixações tanto são aplicáveis a ladrilhos como a lâminas cerâmicas.

Existe uma solução mais recente de lâminas cerâmicas, estando as suas formas de fixação melhor descritas no subcapítulo respeitante às fixações.

Quadro 2.6 – Formas e fixações para revestimentos cerâmicos (ver ponto 2.6)

	Forma	Fixação	Forma	Fixação
Placa ou Lâmina		– Ancoragem por grampos – Ancoragem Linear		– Ancoragem por grampos – Sistema de encaixe
Lâmina		– Fixação para lâminas fixas		– Fixação para lâminas fixas – Fixação para lâminas móveis
Placas sobrepostas		– Ancoragem por grampos		– Ancoragem por grampos

2.5.6. FENÓLICOS

Os compostos fenólicos são substâncias naturais a partir das quais se pode produzir resina plástica de alta resistência, podendo também ser utilizada como adesivo interior para as fibras no processo de transformação de aglomerados de madeira, conferindo-lhes propriedades de grande resistência química e mecânica.

Estes painéis são constituídos essencialmente por três partes, sendo elas as seguintes (figura 2.37):

- 1 - **Película protectora** – película (overlay) impregnada em resina melamínica;
- 2 - **Folha decorativa** – composta por uma folha de papel com o desenho pretendido ou folha de madeira natural que é impregnada em resina melamínica, dotando-a assim de elevada resistência à abrasão;
- 3 - **Núcleo** – composto por folhas de papel kraft impregnadas com resinas fenólicas para o dotar com estabilidade e rigidez.

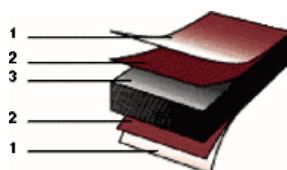


Figura 2.37 – Camadas que compõem um painel fenólico [36]

Este composto é depois sujeito a um tratamento especial, com elevadas pressões e temperaturas, que faz com que se funda e posteriormente endureça. As espessuras dos painéis fenólicos podem variar entre espessuras inferiores a 20 mm e superiores a 6 mm.

Os painéis fenólicos são em norma planos e rectangulares, de grandes dimensões (figura 2.38).



Figura 2.38 – Fachada ventilada em fenólico de folha de madeira [37]

As cores disponíveis são vastas, não havendo limitação nos padrões. Podem ser cores lisas, com texturas, folhas de madeira ou até imagens impressas na película. Apesar desta versatilidade, a durabilidade destes painéis pode ser grandemente comprometida se existir uma elevada exposição solar. As cores são muito sensíveis à radiação ultra-violeta, degradando-se rapidamente.

As formas de fixação utilizadas são as presentes no quadro 2.7.

Quadro 2.7 – Fixações para painéis fenólicos

Fixação	
Fixação por parafusos ou rebites (à vista ou ocultos)	
Ancoragem no tardo	
Ancoragem por grampos	

2.5.7. MADEIRA

A aplicação de madeira em fachada divide-se em dois grupos: *madeira maciça* e *derivados de madeira*.

As *madeiras maciças* aplicadas em fachada são designadas de madeiras modificadas, pois são tratadas de forma a adquirir propriedades que permitam resistir aos agentes exteriores, mantendo-se inalteradas mesmo em condições climáticas adversas, sem necessitar de grande manutenção. O processo de modificação submete a madeira em bruto a elevadas temperaturas para que a maior parte da humidade desapareça e a torne mais resistente.

As dimensões dos elementos em madeira maciça são limitadas pelo tamanho dos troncos, podendo ser de dimensões reduzidas, como escamas ou outras formas geométricas, ou em ripado, solução tradicional (figura 2.39).



Figura 2.39 – Fachada em madeira maciça em ripado (esq.) e elementos de reduzida dimensão (dir.) [38]

Os *derivados de madeira* aplicáveis em fachada são os contraplacados, painéis aglomerados, OSB, MDF, placas de elevada densidade e painéis de partículas de madeira aglutinadas com cimento [39].

Os *painéis de contraplacado* são formados por camadas de madeira contrafiadas, com as fibras geralmente formando ângulos de 90° entre as distintas camadas (figura 2.40).

Os *painéis aglomerados* caracterizam-se pela transformação da madeira em pequenas partículas que secas e misturadas com resina sintética termofixa e distribuídas aleatoriamente entre si, são conformadas sob calor e pressão gerando um painel.

Os *painéis de aparas de madeira* (OSB) são formados por aparas de madeira aglomeradas através duma cola a determinada pressão e temperatura. As aparas, colocadas sempre na horizontal do painel, podem ser orientadas aleatoriamente ou predominantemente numa direcção.

Os *painéis de densidade média* (MDF) são constituídos por fibras de madeira aglutinadas com resinas sintéticas e produtos ignífugantes, para aplicação em ambiente seco. As densidades são variáveis, entre os 680 e os 880 kg/m³, em função da espessura do painel.

As *placas de elevada densidade* (HDF) são caracterizadas por ter uma densidade entre 800 e 1000 kg/m³. As fibras podem ser aglutinadas com uma cola a seco, ou apenas prensadas num processo húmido. As fibras mais utilizadas são as de madeira de pinho, de eucalipto, de choupo e, frequentemente, utilizam-se igualmente resíduos vários de outros materiais.

Os painéis de partículas de madeira aglutinadas com cimento de cor cinzenta são fabricados com uma mistura de partículas de madeira e cimento Portland submetidos a uma elevada pressão (figura 2.40).

As soluções de revestimento e sua fixação estão presentes no quadro 2.8.



Figura 2.40 – Fachada em contraplacado (esq.) e em Viroc (dir.) [38;40]

Quadro 2.8 – Dimensões e fixações para revestimentos em madeira ou derivados

Composição	Dimensões	Fixação
Madeira modificada	Réguas Reduzidas dimensões	
Contraplacado		
Aglomerados		Fixação por parafuso, pregos ou rebites
OSB	Grandes dimensões	
MDF		
HDF		
Viroc		

2.5.8. VIDRO

A fachada ventilada totalmente em vidro assemelha-se no seu aspecto visual a uma fachada cortina, a diferença reside no sistema construtivo. Esse sistema deve ainda ter em conta a limpeza do vidro pelo lado interior, garantindo o seu acesso através das aberturas ou pela criação de uma galeria técnica no espaço da caixa-de-ar.

As fachadas em vidro são muito interessantes para a recuperação de edifícios em que não seja necessário garantir a manutenção da fachada original.

Os tipos de vidro aplicáveis a fachada são os vidros impressos, reflectivos, temperados, laminados e aramados. A aplicação de vidros duplos não faz muito sentido pois não trazem vantagens térmicas ou acústicas.

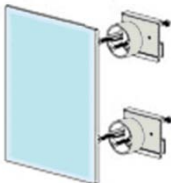
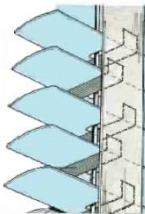
Os vidros podem ser planos, ondulados segundo a forma rectangular ou em lâmina (figura 2.41).



Figura 2.41 – Fachada em vidro com elementos rectangulares (esq.) e lâminas (dir.) [1;41]

Os sistemas de fixação são os presentes no quadro 2.9, sendo que a fixação para lâminas apenas se aplica a elementos em forma de lâmina, como o nome indica.

Quadro 2.9 – Fixação de revestimentos em vidro

Fixação	
Caixilharia	
Ancoragem no tardo	
Fixação para lâminas fixas ou móveis	

2.5.9. PLÁSTICO

O plástico é um material mais versátil que o vidro, dando mais liberdade de formas. No entanto o seu resultado estético não é tão nobre. Por esta razão, são pouco utilizados em fachadas ventiladas, em especial de edifícios habitacionais.

Os plásticos podem ser classificados em [10]:

- **Termoplásticos** – são polímeros artificiais que a uma dada temperatura apresentam alta viscosidade podendo ser conformados e moldados;
- **Elastômeros** – são polímeros, que na temperatura ambiente podem ser alongados até duas ou mais vezes o seu comprimento e retornam rapidamente ao seu comprimento original ao se retirar a pressão;
- **Termoendurecidos** – são polímeros artificiais, cuja rigidez não se altera com a temperatura, diferente dos termoplásticos que amolecem e fundem-se.

O plástico mais utilizado em fachada é o policarbonato, da classe dos termoplásticos (figura 2.42).

Para além das fixações utilizadas para o vidro, o plástico pode ainda ser fixado através de parafusos.

Pode tomar as mesmas formas e dimensões que o vidro, podendo ainda ser opaco ou transparente.



Figura 2.42 – Fachada em plástico policarbonato [10]

2.5.10. PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Como resposta à cada vez maior necessidade que os edifícios têm em ser auto-sustentáveis, surgem na actualidade sistemas de fachada com painéis fotovoltaicos (figura 2.43 e 2.44).

Esta utilização ainda se encontra em desenvolvimento, existindo já alguns edifícios protótipos para analisar o seu desempenho. Um dos aspectos que se tem desenvolvido é a capacidade destes painéis captarem não só a energia solar que incide directamente, mas também a que incide indirectamente, melhorando o rendimento dos painéis, quando aplicados em fachada. No entanto, a sua colocação nas fachadas norte de edifícios ainda é um problema, devido à reduzida exposição solar.



Figura 2.43 – Esquema de fachada com painéis fotovoltaicos (esq.) e sua aplicação num edifício (dir.) [42]



Figura 2.44 – Fachada com painéis fotovoltaicos, com ancoragem por grampos [42]

2.6. FIXAÇÃO

A fixação mecânica dos revestimentos pode ser feita directamente ao suporte ou por intermédio de uma subestrutura que pode conter elementos verticais, horizontais ou ambos.

A hipótese de fixação sem recorrer a uma estrutura, aplica-se essencialmente em ancoragem por cavilhas e algumas soluções de ancoragem de tardez.

Todas as outras soluções são aplicadas por intermédio de uma subestrutura que pode ser de madeira ou em aço inoxidável, sendo a segunda a mais utilizada, por ser mais durável e resistente aos agentes exteriores. A utilização da subestrutura permite também controlar a deformação transmitida do suporte ao revestimento.

Em seguida são apresentadas as várias soluções com base em sistemas disponíveis no mercado.

2.6.1. ANCORAGEM POR CAVILHAS OU DISCOS

Uma cavilha é semelhante a um prego, em que o suporte é dado pela resistência transversal ao corte. Se for aplicado em juntas horizontais a sua função é resistir aos esforços horizontais, mas se for aplicado nas juntas verticais, para além dos esforços horizontais, deve resistir ao peso próprio do revestimento. A cavilha está ligada a um perno que, em juntas horizontais, deve suportar o peso próprio do revestimento, e este último deve ser fixado directamente ao suporte ou ligado a um perfil que estabelece essa ligação. Este sistema é utilizado para revestimentos de fachada leves (figura 2.45).

A única diferença na ancoragem por discos corresponde ao suporte para as acções horizontais que é feita por um disco mais resistente aos esforços do vento e sismos, permitindo a fixação de soluções de revestimento mais pesadas (figura 2.46).

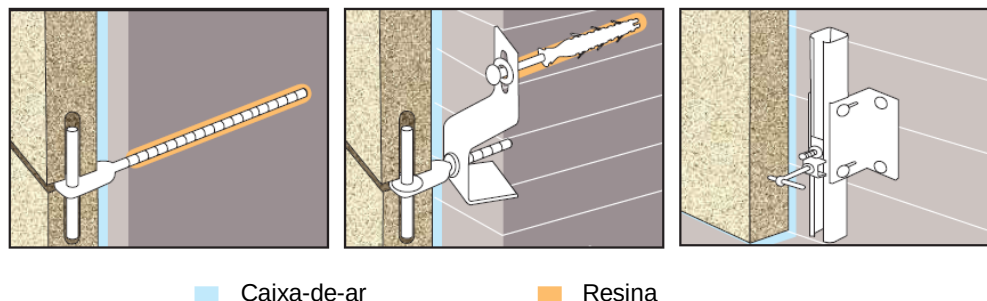


Figura 2.45 – Ancoragens por cavilhas em juntas horizontais (duas à esq.) e verticais (dir.) [43]

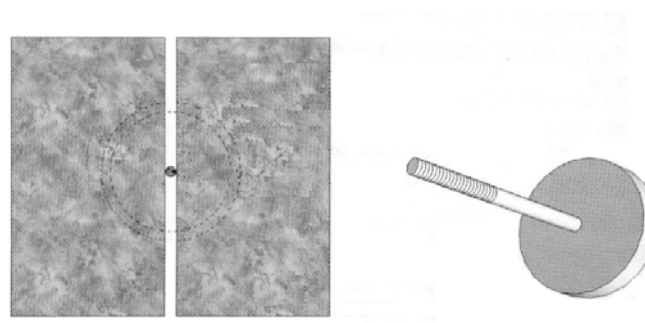


Figura 2.46 – Ancoragens por discos [11]

2.6.2. ANCORAGEM POR GRAMPOS

Um grampo é uma peça metálica como apresenta a figura 2.47, no qual é pousado o revestimento, suportando o peso próprio do elemento de revestimento e fixando-o à fachada. Esta solução tanto pode possibilitar a colocação do revestimento com juntas de topo como em forma de “escama”, com sobreposição. É uma solução tipicamente à vista, podendo haver, em certas situações, cavidade que permitam a sua ocultação. Aplica-se para revestimentos leves ou pesados, neste caso com alguma precaução.



Figura 2.47 – Ancoragem por grampos com e sem sobreposição [18]

2.6.3. ANCORAGEM LINEAR

O funcionamento da ancoragem linear é semelhante à ancoragem por grampos sendo este contínuo em todo o comprimento dos elementos de revestimento, suportando o peso próprio e fixando-o à fachada. Este sistema aplica-se a revestimentos pesados e de espessura suficiente para permitir a existência de um entalhe onde encaixa a ancoragem. A ancoragem linear é uma fixação oculta (figura 2.48).



Figura 2.48 – Ancoragem linear [18]

2.6.4. ANCORAGEM NO TARDOZ

A ancoragem no tardo é a solução de fixação com maior diversidade de sistemas, dependendo do revestimento a suportar.

A primeira técnica, aplicada a revestimentos leves, é a fixação de pernos ajustáveis que exercem uma pressão radial contra as paredes da furação, amarrando as placas de forma eficaz (figura 2.49).

A fixação de soluções de revestimentos pesadas é feita pela suspensão dos painéis através de um perfil com pernos encastrado no revestimento. Esta solução é complementada pela inclusão de pernos semelhantes à primeira solução que, para além de resistirem às acções horizontais, garantem a criação de uma caixa-de-ar (figura 2.50).

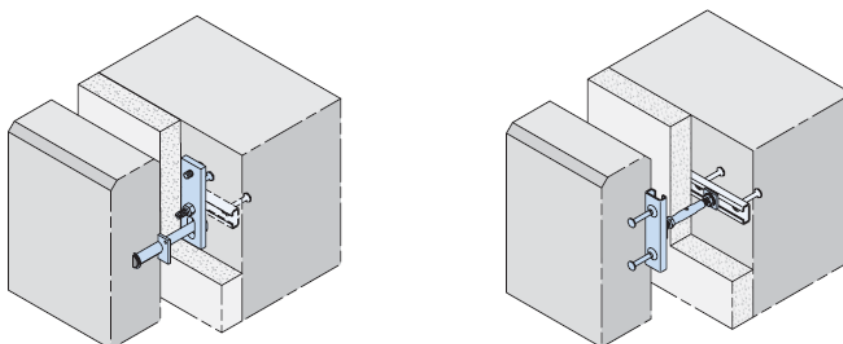


Figura 2.49 – Ancoragem no tardo por pernos ajustáveis [44]

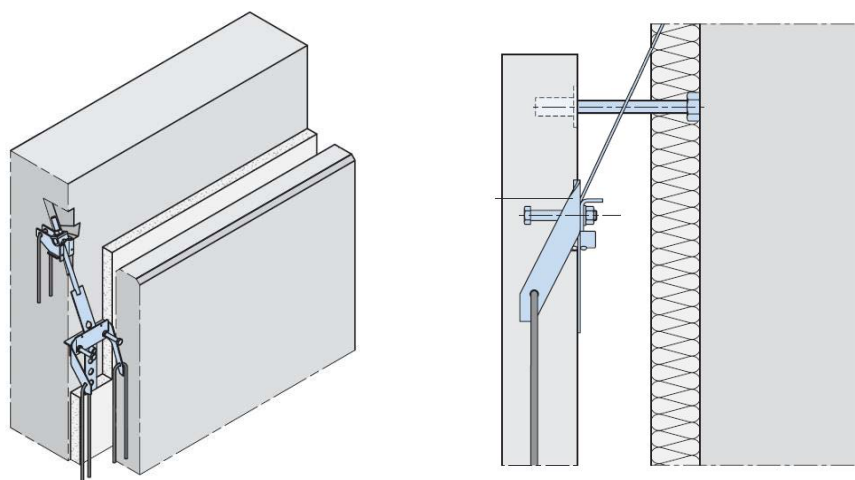


Figura 2.50 – Ancoragem no tardo por sistema de suspensão [44]

Para fixação de revestimentos muito leves, como o vidro, o plástico, o metal e os fenólicos, existem sistemas de aperto que fixam os painéis sem criar grande impacto visual. Estas soluções têm especial interesse para materiais não opacos como o vidro e o plástico, por serem esteticamente apelativos (fixação tipo aranha) e de reduzidas dimensões (figura 2.51).

Para materiais como pedra ou betão existe ainda uma solução que em vez de utilizar furos, recorre a rasgos no qual são introduzidos ganchos, permitindo o posterior encaixe à estrutura metálica de suporte (figura 2.52).

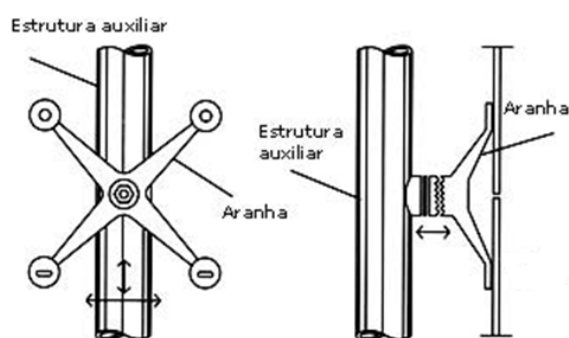


Figura 2.51 – Ancoragem no tardo por sistema de aperto [41]

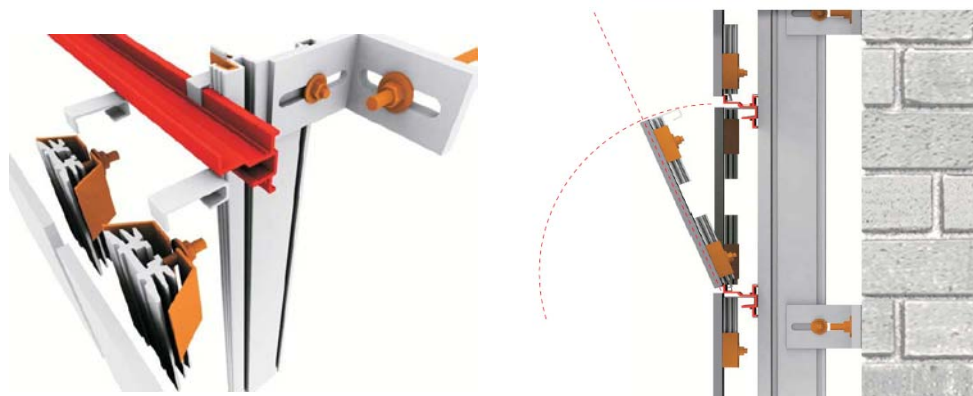


Figura 2.52 – Ancoragem no tardo por ganchos [18]

2.6.5. FIXAÇÃO POR PARAFUSOS OU REBITES

Antes de descrever os sistemas, convém distinguir parafuso de rebite. O parafuso é definido por um eixo com um sulco ou uma linha helicoidal na sua superfície, sendo fixado pela sua rotação num orifício. Um rebite consiste num cilindro com uma cabeça numa das extremidades, similar a um prego ou pino. A sua instalação é feita num orifício pré-perfurado, através do achatamento da outra ponta, quando a espiga preenche o orifício, prendendo o rebite à estrutura. Este último para a sua colocação necessita de ter acesso aos extremos do orifício, para o seu posicionamento e posterior achatamento.

A estrutura de fixação pode ser em madeira ou metálica (figura 2.53). Se for em madeira a fixação dos painéis é com parafusos, se for metálica podem ser fixados em ambas as soluções. Os perfis utilizados nas estruturas metálicas são em “ómega”, “L”, “U” ou “Z”.

Apesar de na figura 2.53 estar representada uma fachada em ripas, os painéis podem ter diversas formas como a típica rectangular ou em escama (soletos de ardósia). Esta última hipótese necessita de perfis horizontais sobre os verticais para a sua fixação.

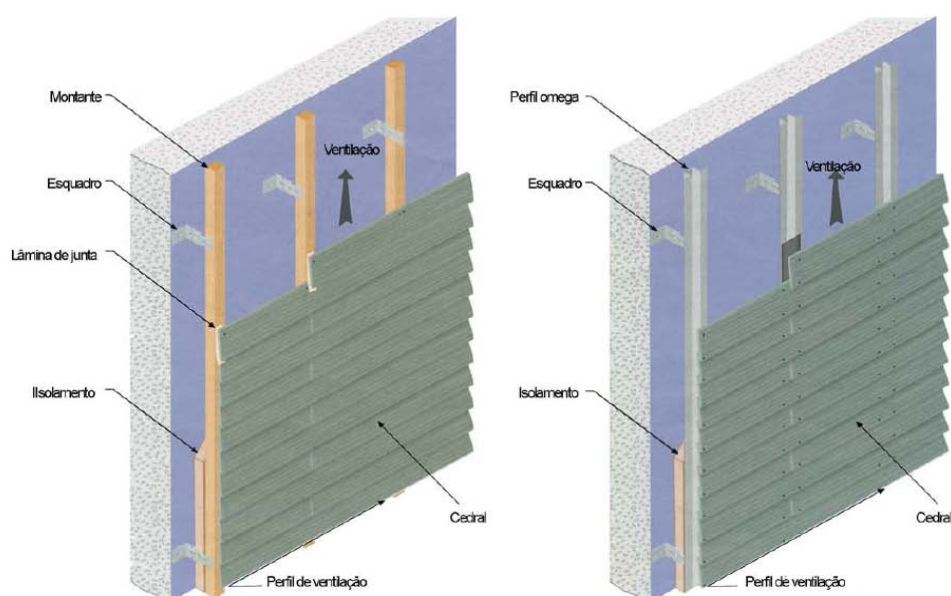


Figura 2.53 – Ripado de madeira fixada por parafusos ou rebites [28]

2.6.6. MOLDURA OU CAIXILHARIA

A fixação por moldura é utilizada para o vidro e em algumas soluções de revestimento metálico. A fixação é feita pela pressão exercida por dois perfis ligados por um parafuso. A interface entre a moldura e o revestimento é preenchida por silicone (figura 2.54).

Este é um sistema bastante estanque. No entanto existe uma alternativa em que a fixação dos revestimentos metálicos é feita da mesma forma apenas nas juntas verticais, deixando as horizontais abertas para entrada de ar.

Existem várias soluções de caixilharia que, devido à sua vastidão, não são aqui apresentadas. A sua escolha deve ter em conta que o revestimento tem apenas função de cortina, sem grandes exigências de isolamento.

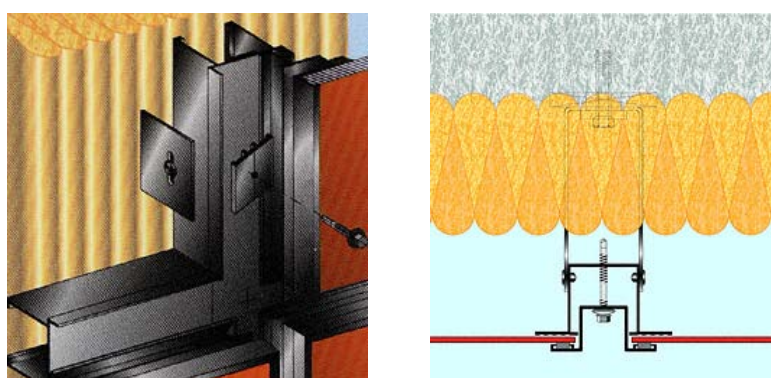


Figura 2.54 – Sistema de moldura [33]

2.6.7. SISTEMAS DE ENCAIXE

Os sistemas de encaixe são muito interessantes, pois agilizam a montagem das fachadas reduzindo o tempo de execução. Estes sistemas estão disponíveis para materiais como o metal e os cerâmicos. Para ser possível a montagem por encaixe, os painéis têm de ser nervurados no seu contorno ou no seu tardo, onde se localizarão as dobras ou entalhes que permitem a fixação. Este sistema tanto pode ser utilizado para placas de dimensões variadas como para lâminas (figuras 2.55 e 2.56).

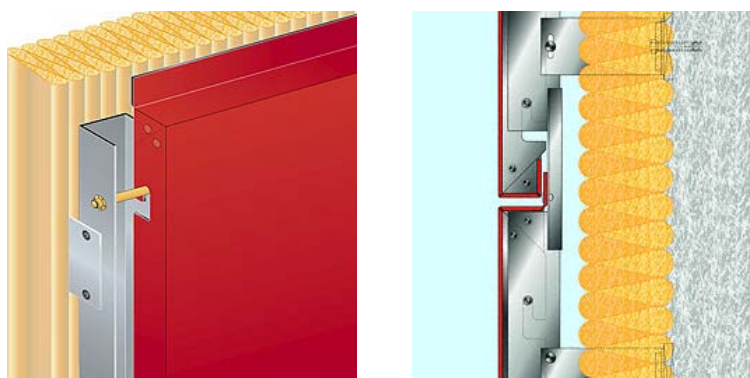


Figura 2.55 – Sistema de encaixe para cassetes [33]

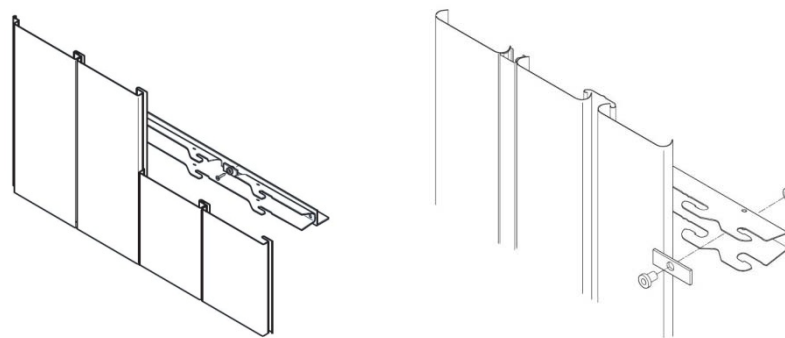


Figura 2.56 – Sistema de encaixe de lâminas na vertical [1]

2.6.8. FIXAÇÃO DE LÂMINAS FIXAS OU MÓVEIS

A fixação de lâminas tem origem nas soluções de protecção solar que têm vindo a generalizar-se a toda a fachada, funcionando da mesma forma que a fachada ventilada. Este sistema de fixação pode ser fixo ou móvel, conforme a intenção do arquitecto, permitindo abrir ou fechar, modificando as condições de luminosidade ou melhorando a estanquidade. Se for um sistema fixo há a possibilidade de o sistema ser de encaixe. No entanto, se for móvel os mecanismos já devem vir montado para apenas serem colocados em obra (figura 2.57).

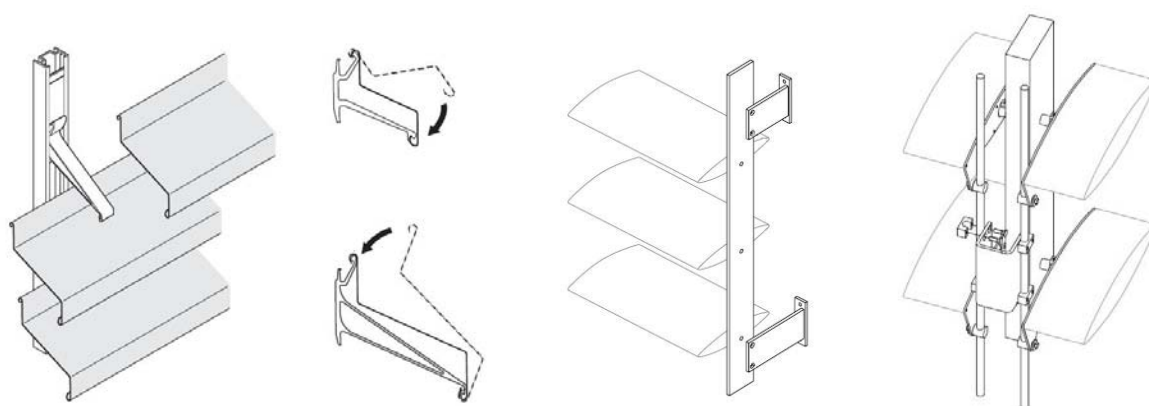


Figura 2.57 – Lâminas simples fixadas por encaixe (esq.) e aerodinâmicas fixas e móveis (duas da dir.) [1]

2.7. CARACTERIZAÇÃO DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS

Um dos aspectos mais importantes na aplicação de uma fachada ventilada é o facto de ser um sistema com isolamento pelo exterior, resolvendo de forma simples as pontes térmicas.

Os materiais utilizados são normalmente o poliestireno expandido moldado ou extrudido e o polietileno em placa ou projectado. Os primeiros são em placas e são fixados, por norma, através de agrafos ou cola.

As lãs de rocha e vidro são menos recomendáveis na possibilidade de entrar em contacto com água, prejudicando o seu desempenho.

2.8. PONTOS SINGULARES

Existem pontos singulares que devem ser tidos em conta para um bom funcionamento do sistema de fachada ventilada.

Para haver ventilação é necessário existirem aberturas para a entrada e saída do ar. As aberturas ao nível do solo devem ter uma rede para impedir a entrada de roedores e insectos na caixa-de-ar. Na execução da platibanda deve-se dar especial atenção à inclinação, que deve estar orientada no sentido exterior-interior, e ao seu prolongamento para além da abertura de saída de ar, de forma a impedir a entrada da água da chuva (figura 2.58).

Quando o edifício é de grande altura, a caixa-de-ar deve ser compartimentada de forma a evitar velocidades excessivas da circulação de ar na ventilação. Esta compartimentação é feita por um perfil que deve estar inclinado para o exterior e ser também prolongado, de forma a proteger a secção da abertura destinada à saída do ar (2.58).

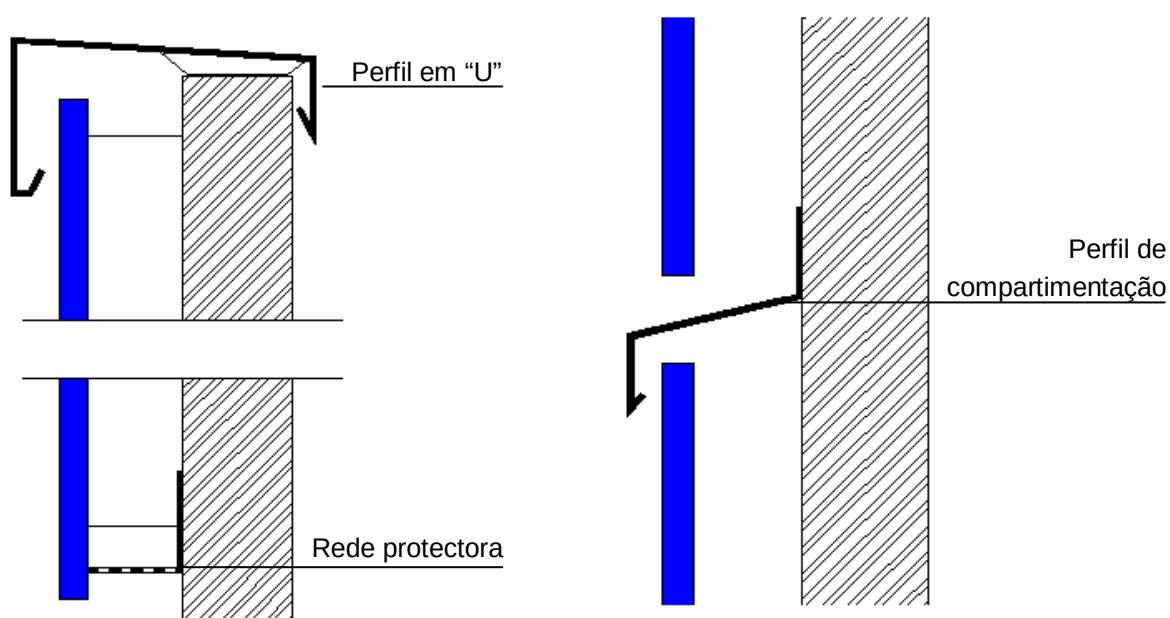


Figura 2.58 – Pormenores da platibanda, abertura inferior (erq.) e compartimentação da caixa-de-ar (dir.)

Os cunhais são zonas muito expostas às intempéries, sendo importante a sua boa concepção. Existem três soluções de cunhais: canto aberto, elemento de canto e perfil de canto (figura 2.59). A solução de canto aberto é evidentemente a pior solução pois não existe qualquer impedimento da entrada da água. A utilização de um elemento de canto é uma excelente solução, mas apenas é aplicável para alguns materiais e em formas arquitectónicas lineares. A utilização de perfil de canto é muito comum e apresenta três variantes: perfil exterior, intermédio e interior.

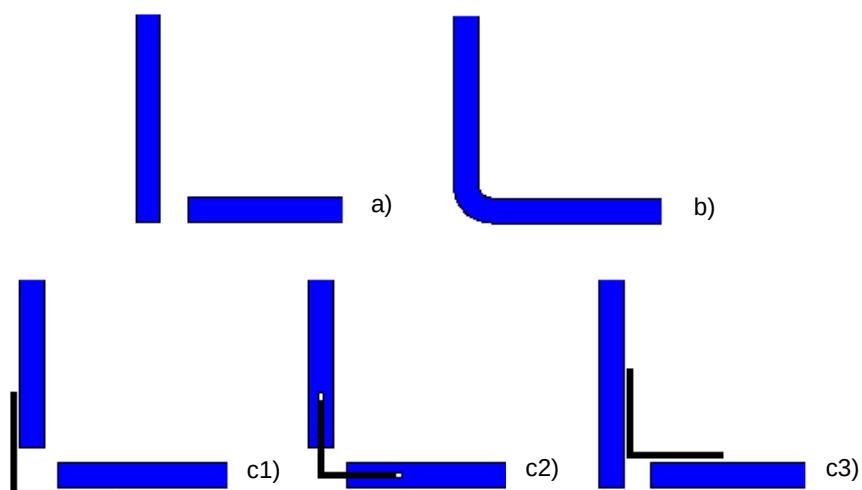


Figura 2.59 – Pormenores de soluções de cunhais – a) Canto aberto; b) Elemento de canto; c) Perfil de canto

Os parapeitos, à semelhança dos perfis de compartimentação, também devem ser inclinados para o exterior e prolongados de forma a proteger a junta debaixo do parapeito. Também é igualmente importante a forma da caixilharia e a existência de um desnível que em caso de má execução ou de uma chuvada excepcionalmente grande impeça a entrada de água (figura 2.60).

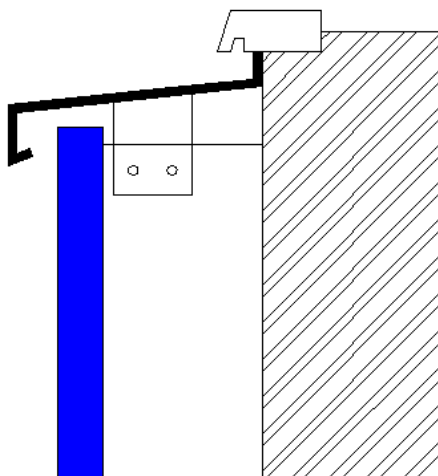


Figura 2.60 – Pormenor do parapeito

3

ANÁLISE EXIGENCIAL DAS FACHADAS VENTILADAS

3.1. O CONCEITO EXIGENCIAL

O conceito funcional é introduzido em Portugal através de publicações do LNEC na década de 60. Segundo estes documentos, as *exigências funcionais* das habitações decorrem das exigências da vida do Homem como habitante. Assim, para satisfazer as necessidades dos utentes o edifício deve realizar todas as funções que permitam concretizar esse objectivo, ou seja, os diversos órgãos do edifício devem realizar em conjunto as funções necessárias à completa satisfação das necessidades dos utentes. Deste modo, as *exigências funcionais* surgem como as funções que o edifício deve satisfazer na sua globalidade. As *exigências funcionais* das habitações definidas são a segurança, saúde, conforto, satisfação e economia.

Com a subdivisão do edifício em órgãos, em que órgão é entendido como uma parte do edifício que assegura uma ou mais das suas funções, surgiu a associação das *exigências funcionais* a cada órgão. As *exigências funcionais* devem estar associadas ao edifício do ponto de vista global, porque se associadas aos órgãos dos edifícios estarão a definir propriedades desses mesmos órgãos, sendo considerado mais correcto utilizar o termo “*exigência de desempenho*”.

O conceito de *exigência de desempenho* está intimamente relacionado com o aparecimento da designação “*performance*” para designar propriedades específicas de produtos de construção. O desempenho de um produto previsto para constituir um dos órgãos dos edifícios é a quantificação das características desse produto que permitam avaliar a sua aptidão para satisfazer ou contribuir para a satisfação das *exigências de desempenho* desse órgão, nas condições reais de utilização [45].

Em 1989 surgiu o conceito de *exigência essencial* na “Directiva dos Produtos de Construção” (DPC). As seis *exigências essenciais* constituem o conjunto de requisitos mínimos que as obras de construção devem respeitar de modo a poderem ser consideradas aptas ao uso durante o período de vida para o qual foram concebidas [45]. A DPC estabelece que, para serem colocados no mercado, os produtos de construção definidos, de acordo com o artigo 1.º da DPC, como todos os produtos a ser incorporados ou aplicados, de forma permanente, numa obra de construção, incluindo as obras de construção civil e de engenharia civil, devem estar aptos ao uso a que se destinam, devendo por isso apresentar características tais que as obras onde venham a ser incorporados satisfaçam às seguintes *exigências essenciais* [46]:

- Resistência mecânica e estabilidade;
- Segurança contra incêndios;
- Higiene, saúde e Ambiente;

- Segurança na utilização;
- Protecção contra o ruído;
- Economia de energia e comportamento higrométrico.

O grande objectivo da definição de *conceito exigencial*, aqui introduzido, é transformar a redacção de regulamentos de construção e cadernos de encargos num formato exigencial, em vez da descrição prescritiva dos métodos, elementos ou sistemas de construção a utilizar em cada caso e na própria descrição dos métodos de aplicação em obra. Os documentos elaborados segundo o *conceito exigencial* determinam a quantificação das exigências que devem ser satisfeitas pelos diversos órgãos dos edifícios. Quando o estado dos conhecimentos não permita a quantificação duma determinada exigência ela deve mesmo assim ser enunciada, ainda que de forma apenas qualitativa.

3.2. DOCUMENTAÇÃO DE REFERÊNCIA

A avaliação da qualidade de uma determinada solução construtiva de um edifício é dada pela avaliação de aptidão ao uso que assenta na realização de ensaios, cálculos ou julgamentos de perito que permitem avaliar o nível de desempenho que deve corresponder às exigências de desempenho definidas nas respectivas documentações de informação técnica (figura 3.1).

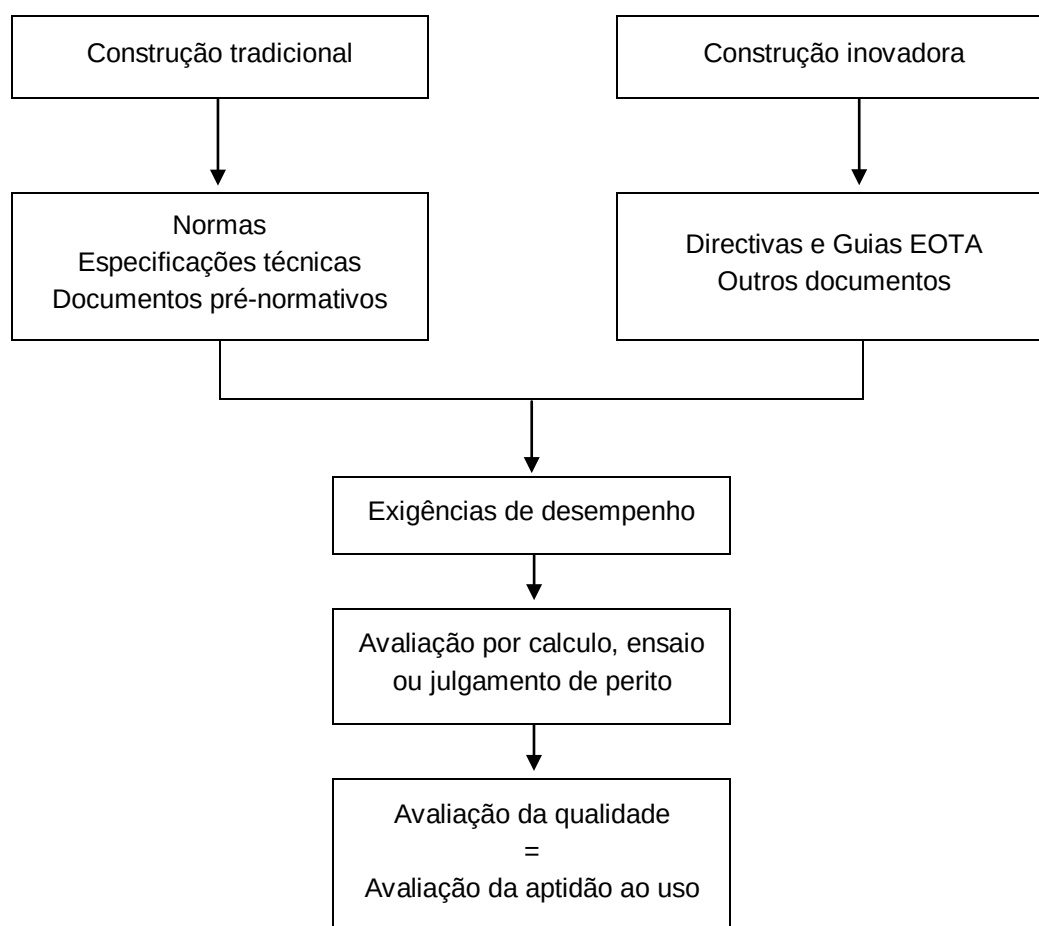


Figura 3.1 – Avaliação da qualidade de soluções construtivas [46]

Essa informação técnica encontra-se dispersa em documentos de diversos tipos e que se resumem em seguida [46]:

- Regulamentos;
- normas;
- especificações técnicas;
- documentos pré-normativos;
- Directivas, Guias ou Relatórios técnicos da EOTA;
- documentação de homologação;
- apreciações preliminares de soluções inovadoras;
- procedimentos de certificação.

Os Regulamentos são publicados através de Leis, Decretos-Lei e Portarias e como tal as exigências nele referidas são de cumprimento obrigatório. Habitualmente abordam as exigências relacionadas com a segurança estrutural contra incêndio, a higiene, a saúde, o ambiente, o conforto e a segurança na utilização.

Em relação às restantes exigências, a informação necessária pode ser recolhida em normas, especificações ou outros documentos pré-normativos e, no caso da construção inovadora, a partir de Directivas, Guias ou Relatórios técnicos da EOTA. Nos casos em que não existam estes documentos, restará apenas o recurso a documentos de homologação, aprovação técnicas, relatórios ou pareceres sobre soluções concretas existentes no mercado.

As normas são elaboradas a partir de especificações técnicas. Quando as especificações são objecto de consenso ao nível nacional ou internacional dão origem a normas (nacionais ou internacionais). A actividade de normalização em Portugal está a cargo do Instituto Português da Qualidade (IPQ). Cabe ao IPQ directamente ou em colaboração com os Organismos de Normalização Sectorial (ONS) a orientação das Comissões Técnicas (CT) responsáveis pela produção de normas em Portugal. As CT são grupos de peritos da área científica e técnica a que o produto a ser normalizado diz respeito.

Na construção, a grande maioria das normas existentes resultaram de trabalhos de investigação conduzidos pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), antes de serem adoptadas como normas. Muitas das especificações têm por base normas internacionais (ISO) ou normas de outros países europeus.

Actualmente, e atendendo ao que se passa no resto da Europa ao nível do CEN, a actividade de normalização em Portugal incide essencialmente no acompanhamento das actividades do CEN e na transposição para normas portuguesas das normas europeias harmonizadas aprovadas [46].

Quanto à homologação, esta é concedida por organismos nacionais especialmente criados para o efeito, sendo o LNEC responsável pela homologação em Portugal. Para atribuição de homologações utilizam-se como base as Directivas da EOTA.

Para além dos documentos mencionados, é recorrente a utilização de documentos franceses como os “Document Technique Unifié” (DTU) e os Cahiers des Prescriptions Techniques (CPT), realizados por grupos especializados do Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), considerados como referências técnicas importantes, devido à proximidade entre a construção portuguesa e francesa. Esta documentação técnica encontra-se também mais completa e define o modo de “execução dos trabalhos”, sendo as normas portuguesas aplicadas normalmente apenas aos materiais de construção e não à forma de execução dos trabalhos que habitualmente constam no caderno de encargos.

3.3. CERTIFICAÇÃO EUROPEIA

A marcação CE nos produtos de construção, ou seja, a aposição da marca “CE” em todos os produtos de construção destinados a serem incorporados de modo permanente numa obra de construção, é abrangida pela Directiva dos Produtos da Construção (DPC), Directiva nº 89/106/CE, de 12 de Dezembro, alterada pela Directiva 93/68/CEE, de 22 de Julho de 1993 [47].

Segundo a Directiva, a Marcação CE é aposta quando a empresa provar que o seu sistema de gestão de qualidade está conforme com o estipulado nas normas homologadas (ou normas nacionais consideradas equivalentes pela Comissão Europeia) para os produtos destinados a obras de construção.

Quando os produtos são inovadores, para os quais não existam normas europeias harmonizadas ou normas nacionais aplicáveis, ou que se afastem de forma significativa das normas europeias harmonizadas ou das normas nacionais aprovadas, o decreto define o conceito de Aprovação Técnica Europeia (ETA). Em Portugal, o organismo autorizado a emitir as ETA é o LNEC e as entidades que para tal sejam designadas, tendo como base os Guias de Aprovação Técnica Europeia (ETAG) [47].

A comprovação da conformidade é possível segundo os seguintes dois sistemas [46]:

- **Declaração de conformidade CE** – no caso da declaração de conformidade CE, no primeiro nível só intervém o fabricante, no segundo nível intervém o fabricante e um laboratório exterior aprovado e no terceiro nível o fabricante, um laboratório aprovado e um organismo exterior de inspecção (Organismo Notificado – “Notified Body”).
- **Certificado de conformidade CE** – a certificação de conformidade CE é atribuída por um organismo especialmente acreditado para esse efeito que é incumbido de atestar a conformidade do produto certificado com as especificações técnicas aplicáveis. Os diplomas legais especificam os procedimentos a seguir pelo fabricante e pelo organismo de certificação com vista à atribuição da certificação.

A aposição da marca CE previamente à colocação dos produtos no mercado é obrigatória para todos os produtos inseridos na directiva “produtos de construção”, cuja especificação técnica tenha sido editada e a data de obrigatoriedade da marca publicada no JOUE (Jornal Oficial da União Europeia) [47].

A aposição da marca, significa que os produtos de construção foram objecto de uma declaração de conformidade CE emitida pelo fabricante, sendo dele a responsabilidade da sua aposição e, quando aplicável, de um certificado de conformidade, emitido por um organismo notificado, como está acima exposto [47].

Esta certificação segue uma corrente de harmonização técnica definida pela União Europeia (UE) com vista a tentar acabar com as “barreiras técnicas” criadas pelos diversos países membros à livre circulação dos produtos na sua área geográfica de soberania, sendo já garantido na Europa a livre circulação de pessoas e bens [46].

3.4. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO

Como é atrás enunciado, todos os produtos constituintes de um sistema incorporado na concepção de um edifício devem permitir a sua selecção exigencial, disponibilizando toda a informação relativa ao seu desempenho. Por esta razão, é essencial definir as exigências de desempenho a satisfazer, neste caso pela fachada ventilada, e as formas de avaliação do seu comportamento.

Para a definição das exigências de desempenho, não existindo normalização portuguesa específica sobre fachadas ventiladas, utilizaram-se como referência as seguintes documentações:

- **NP EN 13830: 2009** – Fachadas-cortina, Norma de produto;
- **CPT 3251** – “*Définition, exigences et critères de traditionalité applicables aux bardages rapportés*”;
- **CPT 3194** – “*Ossature bois et isolation thermique des bardages rapportés faisant l'objet d'un Avis Technique - Règles générales de conception et de mise en œuvre*”;
- **CPT 3316** – “*Ossature métallique et isolation thermique des bardages rapportés faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un constat de traditionalité - Conditions générales de conception et de mise en œuvre*”.

A primeira documentação é a recente norma referente a fachadas-cortina. Como está descrito no início do capítulo 2, a fachada-cortina não é necessariamente uma fachada ventilada. No entanto, a fachada ventilada pode ser enquadrada na norma sendo as suas exigências, como revestimento de fachada, semelhantes e os ensaios, de uma forma geral, da mesma forma aplicáveis.

Sendo a fachada ventilada um conceito menos amplo que fachada-cortina, é importante olhar para o seu funcionamento e analisar os aspectos diferenciadores entre ambos e caracterizá-los, dando garantias que na concepção de uma fachada ventilada se obtém um sistema que se comporte como tal, nomeadamente no desempenho da caixa-de-ar. Se a ventilação não for conseguida, o sistema não passará de uma fachada-cortina.

Para isso analisaram-se as restantes documentações mencionadas, sendo estas Cahiers des Prescriptions Techniques sobre “bardages rapportés”, designação francesa de um sistema em tudo semelhante à fachada ventilada, onde estão estabelecidas as exigências de desempenho e os cuidados a ter na sua concepção, tanto para subestruturas auxiliares de madeira como metálicas.

3.4.1. FACHADA CORTINA

A NP EN 13830 é uma norma de produto que especifica as principais características técnicas da fachada-cortina, referindo de forma sintética os *requisitos de desempenho* e *critérios de ensaio*, que garantem a conformidade com os requisitos essenciais da Directiva dos Produtos da Construção e estabelecem princípios adequados às especificações técnicas do produto.

Esta norma aplica-se a fachadas-cortina constituídas principalmente por elementos metálicos, de madeira ou plástico e podendo encontrar-se na posição vertical até 15° com a vertical.

Apesar de a norma se referir ao sistema fachada-cortina na sua globalidade, esta é encarada pela norma como uma serie de componentes e de unidades pré-fabricadas que apenas se tornam no produto acabado quando montados no local de instalação, sendo referidas, quando necessário, as normas que dizem respeito aos produtos incorporados no sistema.

Os *requisitos* especificados na norma são os seguintes [N1]:

- Resistência à acção do vento;
- Peso próprio;
- Resistência ao impacto;
- Permeabilidade ao ar;
- Estanquidade à água;
- Isolamento aos sons aéreos;
- Coeficiente de transmissão térmica;
- Resistência ao fogo;
- Reacção ao fogo;

- Propagação do fogo;
- Durabilidade;
- Permeabilidade ao vapor de água;
- Equipotencialização;
- Resistência a sismos;
- Resistência ao choque térmico;
- Dilatações térmicas e os movimentos do edifício especificados;
- Resistência a cargas permanentes horizontais.

A norma, para além de referir os requisitos a cumprir, também especifica os procedimentos a efectuar para avaliar a conformidade do produto. A conformidade das fachadas-cortina deve ser demonstrada pelo *Ensaio de Tipo Inicial* (ITT, *Initial type testing*) e pelo *Controlo Interno de Produção* (FPC, *Factory production control*).

O *Ensaio de Tipo Inicial* (ITT) é uma sequência de ensaios que avaliam as características definidas nos requisitos mencionados sobre um protótipo de ensaio representativo do produto em análise. A realização dos ensaios respeita a seguinte sequência [N1]:

- Permeabilidade ao ar – classificação;
- Estanquidade à água, sob pressão estática – classificação;
- Resistência à acção do vento – Estado Limite de Utilização;
- Permeabilidade ao ar – repetir para confirmar a classificação da resistência à acção do vento;
- Estanquidade à água – repetir para confirmar a classificação da resistência à acção do vento;
- Resistência à acção do vento, ensaio de segurança à pressão – Estado Limite Último.

O *Controlo Interno de Produção* (FPC) é o controlo realizado pelo fabricante de forma a garantir que as características de desempenho relatadas sejam mantidas, sendo o fabricante responsável pela sua realização. Os procedimentos do *Controlo Interno de Produção* devem incluir algumas, ou todas, as seguintes operações [N1]:

- especificação e verificação da matéria-prima e componentes das fachadas;
- controlos e ensaios a serem realizados durante o fabrico, segundo uma periodicidade fixada pelo sistema de controlo de produção do fabricante;
- verificação e ensaios a serem realizados em produtos acabados/componentes das fachadas, segundo uma periodicidade fixada pelo sistema de controlo de produção do fabricante;
- descrição dos procedimentos de não-conformidade/acções correctivas.

3.4.2. VENTILAÇÃO EM FACHADAS VENTILADAS

Os sistemas de fachada ventilada devem incluir um espaço de ar ventilado entre a camada de isolamento térmico e o revestimento exterior. A razão essencial da lâmina de ar é uma questão de durabilidade. Este espaço deverá permitir a evacuação da humidade que possa surgir por eventual infiltração através do revestimento exterior ou de eventuais condensações que ocorram no seio do elemento construtivo. Com efeito, essa humidade prejudica os materiais sensíveis à água, como as estruturas em madeira por exemplo.

Para que esta lâmina de ar seja eficazmente ventilada, é conveniente evitar as perdas de carga [48;49]:

- por um lado, para que a secção em zona corrente seja suficiente, a sua largura deve ser no mínimo de 2 cm nas zonas mais estranguladas, em especial nos locais onde se encontram os perfis da subestrutura;
- por outro lado, que as entradas para ventilação sejam igualmente de secção suficiente, respeitando a seguinte expressão:

$$S = \left(\frac{H}{3}\right)^{0,4} \times 50 \quad (3.1)$$

em que:

S – secção de cada uma das aberturas de ventilação, expressa em cm² por cada metro de largura da fachada;

H – altura da fachada, expressa em metros.

No entanto a utilização da equação (3.1) é condicionada de diferente forma para subestruturas em madeira ou metálica.

Se a subestrutura for em madeira, a aplicação desta corresponde sensivelmente a S igual a [48]:

- 50 cm² para uma altura menor ou igual a 3 m;
- 65 cm² para uma altura de 3 a 6 m;
- 80 cm² para uma altura de 6 a 10 m;
- 100 cm² para uma altura de 10 a 18 m;
- 120 cm² para uma altura de 18 a 24 m.

Quando a fachada tem uma altura superior a 24 m, a caixa-de-ar desta deve ser compartimentada com uma altura no máximo de 24 m, por forma a evitar velocidades excessivas de circulação de ar. As secções de ventilação, acima e abaixo de cada compartimento, devem também respeitar a expressão (3.1).

Quando o pano exterior da fachada ventilada é muito permeável (juntas abertas), a largura da lâmina de ar ao nível das zonas estranguladas pode ser reduzida até 1,5 cm [48].

Se a subestrutura for metálica, a aplicação da equação (3.1) corresponde sensivelmente a S igual a [49]:

- 50 cm² para uma altura menor ou igual a 3 m;
- 65 cm² para uma altura de 3 a 6 m;
- 80 cm² para uma altura de 6 a 10 m;
- 100 cm² para uma altura de 10 a 18 m.

Quando a fachada tem uma altura superior a 18 m, a caixa-de-ar desta deve ser compartimentada com uma altura no máximo de 18 m, pois as estruturas metálicas são mais sensíveis à ocorrência de vibrações do que as estruturas em madeira. As secções de ventilação acima e abaixo de cada compartimento, devem respeitar da mesma forma a expressão (3.1).

Quando o pano da fachada ventilada com subestrutura metálica é muito permeável ao ar (juntas abertas), a secção de entrada e saída da ventilação pode ser reduzida segundo a expressão (3.2).

$$S = \left(\frac{H}{3}\right)^{0,4} \times 17,5 \quad (3.2)$$

É propício, em juntas abertas entre elementos de canto, surgirem correntes de ar horizontais, devido ao vento. Para evitar este fenómeno, os ângulos reentrantes ou salientes devem conter um elemento que compartimente a toda a altura (figura 3.2). Este elemento é essencial para impedir a entrada de chuva associada ao vento, garantindo a estanquidade à água. Esta condição é aplicável tanto em subestruturas de madeira como metálicas [48;49].

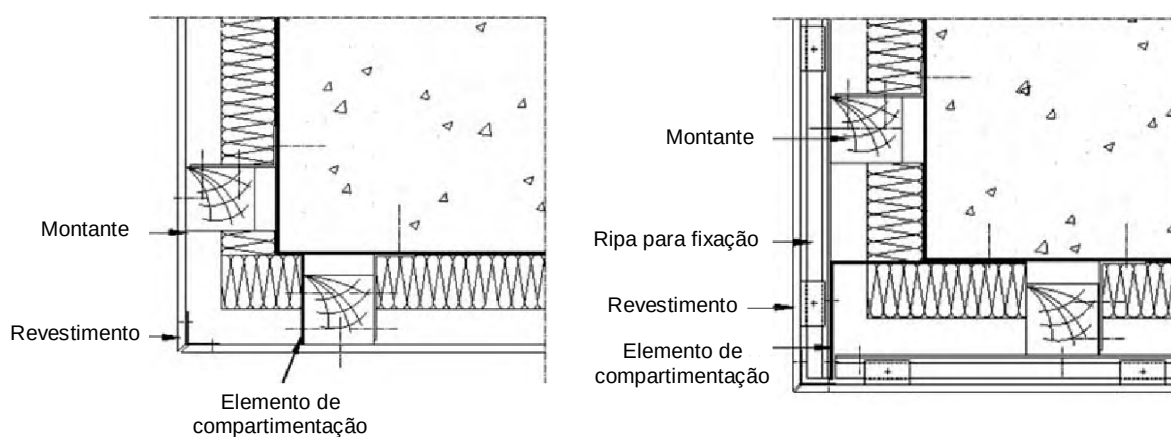


Figura 3.2 – Compartimentações verticais em fachadas com subestruturas em madeira [48;49]

3.4.3. ISOLAMENTO TÉRMICO E CERTIFICAÇÃO ACERMI

Como não existe uma certificação para isolamentos térmicos no âmbito do CEN, adopta-se correntemente a certificação ACERMI, desenvolvida em França e já amplamente utilizada. Esta certificação tem especial interesse, tendo como base a documentação francesa, já bastante desenvolvida no que toca a fachadas ventiladas (*bardage rapporté*), que refere especificamente este certificado.

Esta certificação define os níveis de aptidão caracterizados como ISOLE, destinados a expressar de forma simples a aptidão dos isolamentos em função das necessidades. São obtidas a partir das características definidas nas normas europeias, salvo os casos particulares para as quais os critérios definidos pelas normas europeias são insuficientes para cobrir as necessidades ou quando as normas europeias não expressam os desempenhos de forma harmonizada e cómoda.

A resistência térmica caracteriza o poder isolante do material ($m^2.K/W$) e os restantes parâmetros estão definidos no quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Características e níveis de aptidão de utilização de isolamentos térmicos

	Designação	Descrição	Níveis
I	Compressibilidade	Caracteriza a deformabilidade do material isolante	I ₁ a I ₅
S	Estabilidade dimensional	Caracteriza a estabilidade das dimensões sob a influência das variações de temperatura e de humidade e de solicitações mecânicas	S ₁ a S ₄
O	Comportamento à água	Caracteriza o comportamento à água, absorção de água, impermeabilidade	O ₁ a O ₃
L	Comportamento mecânico	Caracteriza o comportamento mecânico em coesão e flexão	L ₁ a L ₄
E	Permeabilidade ao vapor de água	Caracteriza a capacidade do material isolante de se opor à passagem do vapor de água (permeância)	E ₁ a E ₅

Os níveis mínimos definidos nos CPT para fachadas ventiladas (*bardage rapporté*) são I₁S₁O₂L₂E₁, em que [48; 49]:

- O = 2: isolante não hidrofugo;
- L = 2: isolante semi-rígido.

Os produtos mais correntemente utilizados são os panos de lã mineral (sem barreira pára-vapor), de classe de reacção ao fogo M0, e os isolantes em placas rígidas classe M1, tais como [48;49]:

- painel de poliestireno expandido moldado;
- painel de poliestireno expandido;
- painel de poliuretano.

Os panos rígidos podem ser aplicados nas seguintes condições [48;49]:

- a superfície do suporte tem de ser plana e, no caso de existirem espaços de ar entre o isolamento e o suporte, estes não devem comunicar com o exterior;
- se a concepção da subestrutura e as fixações o permitirem, o cálculo deve ter em conta a rigidez do painel.

3.4.4. REVESTIMENTOS E CLASSIFICAÇÃO reVETIR

A classificação reVETIR permite indicar os principais desempenhos dos sistemas tradicionais ou não, destinados a isolamentos térmicos e ao revestimento exterior de paredes verticais. No fundo é uma classificação semelhante ao ISOLE, sem se concentrar apenas no sub-sistema isolamento térmico.

Esta classificação aplica-se a todos os sistemas de fachada com isolamento pelo exterior, em que a resistência térmica seja superior ou igual a 0,5 m².K/W [50].

As características que servem de base da classificação são sete [45;50]:

- as duas primeiras, “r” e “e” (em minúsculas), são relativas à conservação do sub-sistema;
- as outras cinco, “V”, “E”, “T”, “I” e “R” (em maiúsculas), permitem concluir sobre a aptidão de utilização do sub-sistema em diferentes circunstâncias.

As características são as seguintes [45;50]:

- r** – reparação (facilidade de reparação ou de substituição);
- e** – manutenção (frequência de manutenção);
- V** – Vento (Resistência aos efeitos do vento);
- E** – Estanquidade (Estanquidade à água);
- T** – Resistência aos choques (Choques e punçoamento);
- I** – Incêndio (Comportamento ao fogo);
- R** – Resistência térmica.

A cada uma destas características é atribuído um índice em função do desempenho verificado comprovado por resultados de ensaios normalizados.

3.4.4.1. Reparação (r)

Este critério caracteriza a facilidade de reparar ou substituir pontualmente elementos do revestimento. É admitido que a facilidade de reparação poderá compensar uma relativa fragilidade do sistema. É também admitido para o sistema em estudo, fachada ventilada, que uma placa substituída possua uma tonalidade um pouco diferente, tendo em conta o envelhecimento dos restantes elementos não substituídos. Um sub-sistema de fachada ventilada é classificado numa das seguintes classes [50]:

- **r1** – se a reparação é difícil e necessita de produtos ou componentes específicos do sub-sistema; Entende-se por reparação difícil, uma reparação que necessita da desmontagem do sistema em vários m² para atingir o ponto a reparar por uma empresa especializada;
- **r2** – se a reparação é fácil, mas necessita de produtos ou componentes específicos do sub-sistema, ou se a reparação é difícil mas pode ser efectuada com produtos disponíveis no mercado;
- **r3** – se a reparação é fácil e pode ser realizada com os produtos disponíveis no mercado, mas necessita de uma pintura sobre uma área superior à intervencionada; Sem grande interesse para o sistema em estudo;
- **r4** – se a reparação é fácil e pode ser realizada com produtos correntes no mercado e sem necessitar de uma intervenção além da zona a reparar.

3.4.4.2. Manutenção (e)

Para ser classificado, um sub-sistema deve incluir isolantes térmicos e fixações com duração de vida estimada superior a 50 anos. O revestimento deve ter duração de vida estimada superior a 30 anos, sendo que os diferentes índices para esta característica estão relacionados com as diferentes necessidades de intervenção sobre o revestimento para a sua manutenção em bom estado de conservação. Um sub-sistema de revestimento é classificado numa das seguintes quatro classes [50]:

- **e1** – se necessitar de intervenções com intervalos curtos de tempo (3 a 10 anos);
- **e2** – se necessitar de intervenções com intervalos normais de tempo (8 a 20 anos);
- **e3** – se o sub-sistema for susceptível de não necessitar de intervenção, mas o seu aspecto não for conservado (mesmo após lavagem) ou se apenas necessitar de intervenções com intervalos longos de tempo (mais de 15 anos);
- **e4** – se o aspecto se conservar sem necessidade de intervenções ou lavagens periódicas.

3.4.4.3. Resistência ao vento (V)

Segundo os níveis de pressão e de depressão a que o sub-sistema revestimento resiste, sem ruptura nem deformação residual, será classificado conforme apresentado no quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Classificação da resistência ao vento do sub-sistema revestimento [50]

Classe	Pressão superior a (Pa)	Depressão superior a (Pa)
V1	510	640
V2	910	1 140
V3	1 280	1 600
V4	1 790	2 235

3.4.4.4. Estanquidade (E)

Para ser classificado, um sub-sistema revestimento não pode constituir uma barreira totalmente estanque ao vapor de água.

Em função de estanquidade relativa à água da chuva, o sub-sistema será classificado [50]:

- **E1** – se o sub-sistema permitir que a água da chuva atinja o suporte;
- **E2** – se o sub-sistema é capaz de se opor ao encaminhamento da água da chuva até ao suporte;
- **E3** – se o sub-sistema incorporar na lâmina de ar dispositivos de recuperação e evacuação das águas infiltradas, de modo que a água eventualmente infiltrada não cause alterações no sistema;
- **E4** – se o sub-sistema compreender um revestimento estanque à água e dispositivos na caixa-de-ar que permitam a recuperação e evacuação das águas eventualmente infiltradas.

3.4.4.5. Resistência aos choques (T)

Os ensaios de resistência aos choques são definidos segundo duas variáveis, a primeira corresponde à massa do corpo de choque, ou ao diâmetro do Perfotest, e a segunda à energia do choque. Um sub-sistema revestimento é classificado [50]:

- **T1** – se resistir ao choque de corpo duro de 0,5 kg/0,35 J e ao choque de corpo mole de 3 kg/3 J;
- **T1+** – se resistir ao choque de corpo duro de 0,5 kg/1 J e ao choque de corpo mole de 3 kg/3 J;
- **T2** – se resistir ao choque de corpo duro de 0,5 kg/3 J, ao choque de corpo mole de 3 kg/10 J sem alteração e não ser perfurado no Perfotest 20 mm/3,75 J;
- **T3** – se resistir ao choque de corpo duro de 0,5 kg/3 J, ao choque de corpo mole de 3 kg/20 J, ao choque de corpo mole de 50 kg/130 J e não ser perfurado no Perfotest 12 mm/3,75 J;
- **T4** – se resistir ao choque de corpo duro de 1 kg/10 J, ao choque de corpo mole de 3 kg/60 J, ao choque de corpo mole de 50 kg/400 J e não ser perfurado no Perfotest 6 mm/3,75 J.

O ensaio ao choque de corpo mole simula o impacto resultante da queda accidental de uma pessoa contra um painel. O corpo mole é deixado cair de uma determinada altura, criando uma energia de impacto correspondente à energia criada pela queda de uma pessoa. O ensaio é realizado através de um saco de lona esférico com 400 mm de diâmetro, preenchido com esferas de vidro com 3 mm de diâmetro, dando um peso total ao saco de 50 kg (figura 3.3) [51].

O ensaio ao choque de corpo duro simula o impacto resultante da queda accidental de um objecto contra um painel. O corpo duro é deixado cair de uma determinada altura, criando uma energia de impacto correspondente à energia criada pela queda de mobília ou outros objectos similares. O corpo duro no ensaio corresponde a uma bola de aço com diâmetro de 63,5 mm e com massa de 1030 g [51].

Os métodos de ensaio de resistência ao impacto mencionados estão descritos na ISO 7892: 1988 [N7].

O Perfotest é um aparelho que permite reproduzir impactos perfurantes (figura 3.3). Este é calibrado através de uma ponta de forma hemisférica, reproduzindo o impacto de uma esfera em aço. O ensaio pode ser executado em superfícies horizontais e verticais. O diâmetro da ponta usada não deve perfurar a superfície ensaiada [52]. Este ensaio é referido em documentações francesas e em Guias de Aprovação Técnica Europeia (ETAG), não existindo nenhuma norma específica ao ensaio [50;52].

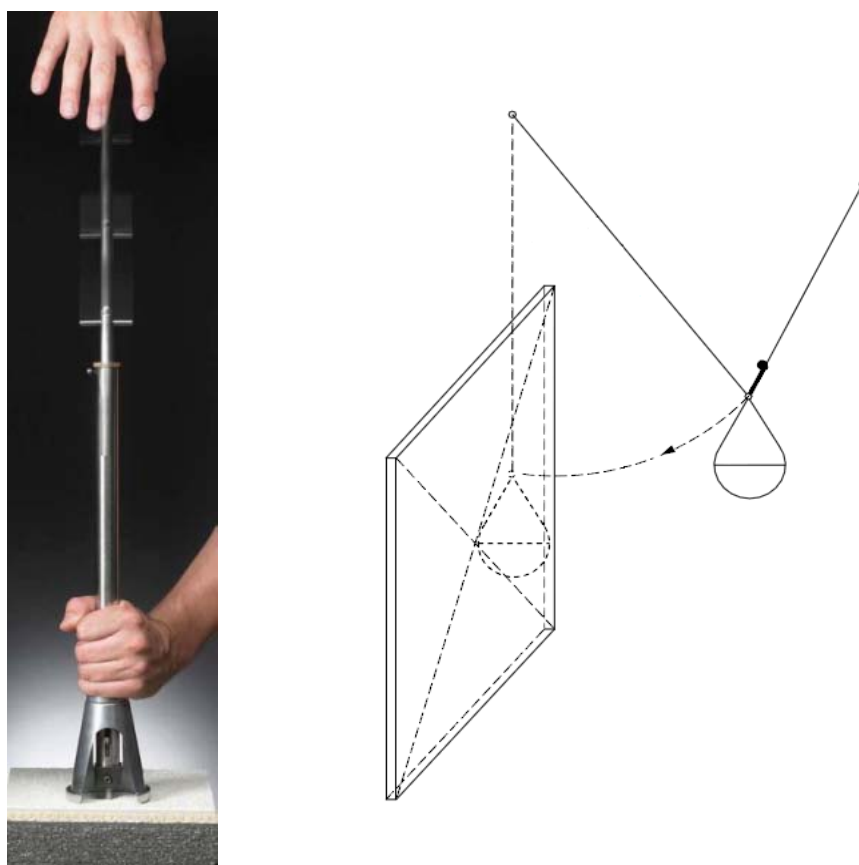


Figura 3.3 – Ensaio Perfoteste (esq.) e ensaio ao choque de corpo mole (dir.) [51;53]

3.4.4.6. Comportamento em caso de incêndio (I)

A classificação de reacção ao fogo é relativa à totalidade do sub-sistema revestimento e não apenas ao revestimento enquanto pele do sub-sistema visto o isolante térmico, se existir, ser frequentemente atingível pelo fogo. Esta classificação utiliza ainda as antigas classes de reacção ao fogo dos materiais.

Um sub-sistema revestimento é classificado numa das seguintes classes [50]:

- **I1** – se é M4;
- **I2** – se é M3;
- **I3** – se é M2 ou M1;
- **I4** – se é M0.

3.4.4.7. Resistência térmica (R)

A resistência térmica (R) considerada é a resistência máxima susceptível de ser obtida com o sub-sistema completo.

Um sub-sistema revestimento é classificado [50]:

- **R1** – se $0,5 \leq R < 1 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- **R2** – se $1 \leq R < 2 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- **R3** – se $2 \leq R < 3 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- **R4** – se $R \geq 3 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

3.4.5. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO DE FACHADAS VENTILADAS

Tendo em vista o conceito exigencial, é imprescindível a existência prévia de uma listagem das exigências de desempenho para os diversos órgãos, componentes, produtos ou obras dos edifícios, como é o caso das fachadas ventiladas, e a subsequente explicitação dessas exigências. Com esse intuito apresenta-se em seguida o quadro 3.3.

As exigências encontram-se agrupadas em diferentes grupos exigenciais, sendo os seis primeiros relacionados com as exigências essenciais (EE) definidas pela DPC. Os nove grupos exigenciais definidos são os seguintes:

- **EE1** – Resistência mecânica e estabilidade;
- **EE2** – Segurança contra incêndios;
- **EE3** – Higiene, Saúde e Ambiente;
- **EE4** – Segurança na utilização;
- **EE5** – Protecção contra o ruído;
- **EE6** – Economia de energia e comportamento higrométrico;
- **E7** – Conforto Visual
- **E8** – Durabilidade
- **E9** – Montagem, Manutenção e Reparação

Dentro de cada grupo estão definidas as exigências de desempenho que a fachada ventilada deve cumprir. A cada exigência está associada uma descrição a clarificar quais as características envolvidas, que podem ser quantificáveis ou não. As características podem ser uma grandeza física quantificável por cálculo, ensaio ou medição directa, ou outra grandeza com definição associada a uma

classificação. Para características em que seja impossível a sua avaliação quantitativa, esta pode ser expressa de forma qualitativa.

A definição dos cálculos, ensaios, ou classificações estão presentes em documentações como as normas europeias (EN), internacionais (ISO), portuguesas (NP), relatórios técnicos EOTA ou em especificações do LNEC.

No quadro 3.3 estão mencionadas as normas europeias e internacionais, pois são as presentes na norma de produto da fachada-cortina, à qual se deu prioridade. No entanto a aplicação destas normas deve ser feita de forma cuidada, pois a fachada-cortina é um sistema mais genérico, podendo haver aspectos específicos da fachada ventilada que não tenham sido tidos em conta. No caso da não aplicabilidade ou inexistência de normas europeias ou internacionais, pode-se sempre recorrer às restantes normas mencionadas acima.

Quadro 3.3 – Exigências de desempenho das fachadas ventiladas

Grupo Exigencial	Exigência de Desempenho	Descrição da Exigência de Desempenho	Normas aplicáveis
EE1	Peso próprio	A fachada ventilada deve suportar o seu peso próprio, bem como o de quaisquer outros acessórios que estejam devidamente incorporados na sua concepção original. Deve transferir o peso para a estrutura do edifício, de forma segura, através das fixações próprias para o efeito [N1].	NP EN 1991-1-1 [N8]
		A deformação máxima de qualquer perfilado estrutural horizontal da fachada, provocada por uma carga vertical, não deve exceder L/500 ou 3 mm, adoptando-se o valor que corresponder a uma deformação menor [N1].	NP EN 13830 ⁽¹⁾ [N1]
	Resistência ao vento (...)	A fachada ventilada deve ser suficientemente rígida para resistir, à pressão do vento declarada para o estado limite de utilização, quer positiva, quer negativa [N1]. Deve transferir a pressão declarada do vento para a estrutura do edifício, de forma segura, através das fixações próprias para o efeito [N1].	EN 12179 ⁽¹⁾ [N9]

(1) Norma aplicável a fachada-cortina.

Quadro 3.3 – Exigências de desempenho das fachadas ventiladas (continuação)

Grupo Exigencial	Exigência de Desempenho	Descrição da Exigência de Desempenho	Normas aplicáveis
EE1	(...)		
	Resistência ao vento	Quando sujeita às pressões declaradas do vento, a deformação máxima dos perfilados que constituem a estrutura da fachada ventilada não deve exceder $L/200$, ou 15 mm, aquela que for menor, quando medida entre os pontos de suporte ou ancoragem à estrutura do edifício [N1].	EN 13116 ⁽¹⁾ [N10]
	Resistência a sismos	Quando especificamente requerido, a resistência a sismos deve ser determinada de acordo com as especificações técnicas, ou outras disposições, válidas no local de instalação [N1].	NP EN 13830 ⁽¹⁾ [N1]
	Fixação do revestimento	Definição da resistência ao arrancamento por tracção por ensaio [45].	—
	Resistência ao impacto	Após o impacto ou colisão, casual ou accidental, entre o utilizador e o revestimento, este último deve apresentar segurança ao uso e condições adequadas ao serviço [N1; 45].	ISO 7892:1988 EN 12600 ⁽²⁾ EN 14019 ⁽¹⁾ [N7;N11;N12]
		Os revestimentos em vidro devem cumprir as especificações desse produto [N1].	EN 12600 ⁽²⁾ [N11]
	Dilatações térmicas e os movimentos do edifício especificados	A concepção da fachada ventilada deve prever dilatações térmicas e os movimentos do edifício especificados, sem que, tal, danifique os componentes ou o seu desempenho. O projectista deve especificar os movimentos do edifício que a fachada ventilada deve acomodar, incluindo movimentos das juntas da estrutura [N1].	NP EN 13830 ⁽¹⁾ [N1]

(1) Norma aplicável a fachada-cortina.

(2) Norma ou exigência aplicável apenas ao material vidro.

Quadro 3.3 – Exigências de desempenho das fachadas ventiladas (continuação)

Grupo Exigencial	Exigência de Desempenho	Descrição da Exigência de Desempenho	Normas aplicáveis
EE1	Alteração das características mecânicas do revestimento no estado húmido	As variações das resistências à tracção por flexão e à compressão entre o revestimento seco e saturado de água não devem ser significativas [54].	–
	Resistência a cargas permanentes horizontais	A fachada ventilada deve resistir a uma carga permanente horizontal ao nível do peitoril [N1].	NP EN 1991-1-1 [N8]
EE2	Reacção ao fogo	Referência à classe de reacção ao fogo [N1].	
	Propagação do fogo	Quando especificamente requerido, a fachada ventilada deve incorporar os elementos necessários para evitar a transmissão do fogo ou fumo através dos vazios da estrutura da fachada ventilada, nos remates com as lajes de cada piso [N1].	EN 13501-2 [N13]
	Resistência ao fogo	Referência à classe de resistência ao fogo [N1].	EN 13501-2 [N13]
EE3	Odores	Referência da classe de apreciação de odores. [45]	–
	Resistência ao enodoamento	Definição da classe de resistência ao enodoamento por produtos químicos [54].	
		Verificação da aspereza e pegajosidade. Definição da classe de resistência ao enodoamento pela poeira [54].	–
	Fixação de bolores e microrganismos	Deve-se evitar acabamentos ásperos, em especial os que tendem a permanecer húmidos durante muito tempo, de forma a evitar a fixação de bolores ou outros microrganismos vegetais [54].	–

Quadro 3.3 – Exigências de desempenho das fachadas ventiladas (continuação)

Grupo Exigência	Exigência de Desempenho	Descrição da Exigência de Desempenho	Normas aplicáveis
EE3	Limpeza	Descrição da resistência a acções de limpeza. Os revestimentos não devem necessitar de processos de limpeza não usuais. Referência à classe de resistência à lavagem [54].	—
	Aptidão para reutilização	Descrição das potencialidades para reutilização após a remoção do sub-sistema [45].	—
EE4	Equipotencialização ⁽²⁾	Quando especificamente requerido, os componentes metálicos da fachada devem ser ligados mecanicamente à estrutura para constituir uma ligação equipotencial ao circuito de terra do edifício. Este requisito é aplicável em edifícios com uma altura superior a 25 m. A resistência eléctrica da ligação não deve exceder 10 Ω quando ensaiada [N1].	NP EN 13830 [N1] ^{(1) (2)}
EE4	Perfil geométrico de superfície	Os paramentos exteriores acessíveis aos utentes não devem apresentar rugosidade ou saliências localizadas que possam provocar ferimentos ou arranhaduras em consequência de fricções acidentais. Deverá ser dada especial atenção à ligação aos vãos, às esquinas e às bases. Rugosidades admissíveis a fixar em cada caso [45].	—
	Resistência à peladura	Referência da temperatura máxima atingível pelo revestimento em exposição solar. A temperatura máxima para paramentos acessíveis aos utentes é de 60°C [45].	—
EE5	Isolamento sonoro a sons de condução aérea	Quando for especificamente requerido, o índice de isolamento sonoro deve ser determinado por ensaio [N1].	NP EN 20140-3 NP EN ISO 717-1 [N14;N15]

(1) Norma aplicável a fachada-cortina.

(2) Norma aplicável a fachada com estrutura metálica.

Quadro 3.3 – Exigências de desempenho das fachadas ventiladas (continuação)

Grupo Exigencial	Exigência de Desempenho	Descrição da Exigência de Desempenho	Normas aplicáveis
EE6	Coeficiente de transmissão térmica	A avaliação/cálculo do coeficiente de transmissão térmica da fachada ventilada, bem como os ensaios, devem ser realizados pelos métodos normalizados [N1].	EN 13947 [N16]
	Estanquidade à água	Classificação da parede segundo a sua estanquidade à água [N1; 45].	EN 12155 ⁽¹⁾ EN 12154 ⁽¹⁾
		Referência do coeficiente de capilaridade e da absorção de água do revestimento [45].	[N17;N18]
	Permeabilidade ao vapor de água	As barreiras de controlo de vapor de água, em conformidade com a respectiva Norma, devem ter em conta as condições higro-térmicas do edifício [N1].	NP EN 13830 ⁽¹⁾ [N1]
	Permeabilidade ao ar	Referência ao valor da permeabilidade ao ar da parede [N1].	EN 12153 ⁽¹⁾ EN 12152 ⁽¹⁾ [N19;N20]
E7	Inércia térmica interior	Referência ao valor da massa superficial útil [45].	—
	Reacção do revestimento exterior à água	A diferença de aspecto entre as zonas dos paramentos habitualmente batidas pela chuva e as zonas que habitualmente se encontrem abrigadas não devem ser excessivas [45].	—
	Planeza das superfícies	Quantificação da planeza geral e da planeza localizada.	—
		Flechas admissíveis < 10 mm e ≤ 2 mm respectivamente [45].	
	Verticalidade	Quantificação dos desvios. Desvios admissíveis ≤ 10 mm/3 mm [45].	—
	Rectidão de arestas	Quantificação do desvio da linha da aresta relativamente à sua linha média.	—
		Desvios admissíveis ≤ 5 mm [45].	

(1) Norma aplicável a fachada-cortina.

Quadro 3.3 – Exigências de desempenho das fachadas ventiladas (continuação)

Grupo Exigencial	Exigência de Desempenho	Descrição da Exigência de Desempenho	Normas aplicáveis
E7	Regularidade e perfeição das superfícies	Descrição dos defeitos de superfície e quantificação da largura de fissuras. Defeitos toleráveis, a fixar em cada caso, largura admissível das fissuras em zona corrente $\leq 0,2$ mm [45].	–
	Homogeneidade de cor e brilho	Quantificação da diferença de cor da refletância difusa. Diferença de cor e de brilho admissíveis a fixar em cada caso. Limiar de perceptibilidade da diferença de cor $\leq 2 \pm 0,6$. Limiar de perceptibilidade da diferença de brilho $\leq 5\%$ [45].	–
E8	Durabilidade dos componentes, materiais e acabamentos	Os componentes, materiais e acabamentos deverão manter as suas características quando submetidos ao envelhecimento natural. A durabilidade do desempenho de qualquer característica da fachada ventilada está relacionada com a conformidade dos materiais e acabamentos constituintes com as soluções actualizadas, ou com especificações técnicas europeias, relativas ao material ou acabamento. As durabilidades devem ser semelhantes para todos os componentes, materiais e acabamentos da fachada ventilada [N1; 45].	NP EN 13830 ⁽¹⁾ [N1]
	Resistência ao atrito	Definição da maior dureza de mina que não vinca o revestimento. A mina 4H não deve deixar vinco no revestimento [45].	–
	Resistência à erosão por partículas do ar, pela água e pelo granizo e ao escoamento de água	Os revestimentos não devem apresentar perda de espessura nem alteração significativa do aspecto por erosão ou escoamento. Coeficiente de abrasão a definir para cada caso [45].	–

(1) Norma aplicável a fachada-cortina.

Quadro 3.3 – Exigências de desempenho das fachadas ventiladas (continuação)

Grupo Exigencial	Exigência de Desempenho	Descrição da Exigência de Desempenho	Normas aplicáveis
	Resistência ao choque térmico ⁽²⁾	Quando for determinado que é necessário um vidro resistente ao choque térmico, deve ser escolhido um vidro temperado ou termoendurecido adequado que satisfaça a(s) respectiva(s) Norma(s) Europeia(s) [N1].	NP EN 13830 ⁽¹⁾ [N1]
E8	Resistência aos agentes climáticos	Definição do número de ciclos e períodos de exposição aos agentes climáticos a que o revestimento resiste sem se deteriorar. O revestimento deve manter as suas características de estanquidade iniciais. Números de ciclos gelo-degelo ≤ 10 ; período de exposição aos ciclos de aquecimento ≥ 28 dias; período de exposição às radiações ultravioletas $\geq 1000h$ [45].	—
	Resistência aos produtos químicos do ar	Definição do período de exposição ao ambiente agressivo considerado a que o revestimento resiste sem se deteriorar. Período de exposição aos agentes agressivos cuja presença no ar seja provável $\geq 1000h$ (1000 ciclos) [45].	—
E9	Facilidade de transporte de componentes	Indicação da massa unitária dos componentes usados no sistema e dos conjuntos de componentes quando normalmente transportados em grupo. A massa de cada elemento a manipular em obra por um operário não deverá exceder os 30 kg [45].	—
	Aptidão para a armazenagem	Indicação das condições necessárias à armazenagem dos produtos. Definição do período máximo de armazenamento [45].	—

(1) Norma aplicável a fachada-cortina.

Quadro 3.3 – Exigências de desempenho das fachadas ventiladas (continuação)

Grupo Exigencial	Exigência de Desempenho	Descrição da Exigência de Desempenho	Normas aplicáveis
E9	Facilidade de montagem	Indicação do mínimo máximo número de horas necessárias por m ² para montagem da totalidade do sistema [45].	–
	Reparação	Reparação da fachada com materiais e produtos correntes e de fácil obtenção no mercado [45].	–
	Manutenção	Os trabalhos de reparação das fixações dos elementos de revestimento devem limitar-se à substituição de um ou outro elemento deteriorado [45]. Deve ser especificado o intervalo de tempo necessário de intervenção.	–

3.5. ANÁLISE DE DESEMPENHO DA FACHADA VENTILADA

Com uma diversidade tão grande de soluções, tanto de revestimentos como de sistemas de fixação, é importante avaliar quais os aspectos mais vantajosos, do ponto de vista exigencial, de cada uma das soluções. No entanto, devido ao número elevado de exigências de desempenho a cumprir e sendo a maioria destas avaliadas através de ensaios, são apenas desenvolvidas com mais pormenor a facilidade de desmontagem, associada à manutenção e reparação, e o comportamento ao fogo.

3.5.1. MANUTENÇÃO E REPARAÇÃO

As acções de manutenção e de reparação são de extrema importância para garantir o bom funcionamento do sub-sistema. Estas intervenções estão, em geral, associadas à substituição de componentes do sub-sistema. No entanto, a substituição de componentes envolve, na maioria dos casos, a desmontagem da fachada ventilada numa área muito superior à que necessita objectivamente de intervenção.

Com o intuito de distinguir o trabalho necessário na desmontagem para cada solução de fachada ventilada, elaborou-se o quadro 3.4.

O quadro 3.4 contém uma descrição genérica do trabalho necessário na desmontagem de cada um dos sistemas de fixação, tipificados no capítulo 2, associando a esta descrição a classe de reparação (r) aplicável, da classificação reVETIR. A disponibilidade dos produtos e componentes no mercado não se encontra tão aprofundada, porque está muito dependente da concepção do sistema em causa, sendo o quadro 3.4 centrado essencialmente na desmontagem.

Quadro 3.4 – Facilidade de montagem e substituição

Fixação	Desmontagem para substituição	Reparação (r) [50]
Ancoragem por cavilhas ou discos	Para cavilhas ou discos em juntas de topo, a substituição de um elemento de revestimento necessita da remoção dos elementos de revestimento e fixações que se encontrem no respectivo alinhamento vertical, desde o extremo até ao ponto a reparar.	r1 ou r2
	Para cavilhas ou discos em juntas verticais, o procedimento é o mesmo, sendo necessária a remoção dos elementos de revestimento e fixações que se encontrem no respectivo alinhamento horizontal, desde o extremo até ao ponto a reparar.	
Ancoragem por grampos	A substituição de um elemento de revestimento necessita da remoção dos elementos de revestimento e fixações que se encontrem no respectivo alinhamento vertical, desde o extremo até ao ponto a reparar.	r1 ou r2
Ancoragem Linear	A substituição de um elemento de revestimento necessita da remoção dos elementos de revestimento que se encontrem no respectivo alinhamento horizontal, desde o extremo até ao ponto a reparar.	r1 ou r2
	Se for impossível o deslizamento dos elementos de revestimento entre perfis, é necessária a remoção de todo o revestimento e perfis de suporte localizados acima do alinhamento horizontal do ponto a reparar.	
Ancoragem no tardo	Os sistemas de aperto ou ancoragem por ganchos permitem a substituição de um elemento de revestimento de forma isolada.	r2 ou r4
	Os restantes sistemas de ancoragem por tardo necessitam da remoção dos elementos de revestimento adjacentes para a sua substituição.	r1 ou r2
Fixação por parafusos ou rebites	A substituição de um elemento de revestimento é possível de forma isolada.	r4
	Em soluções com sobreposição de elementos de revestimento é necessária a remoção dos elementos de revestimento adjacentes que ocultam os parafusos ou rebites.	r2

Quadro 3.4 – Facilidade de montagem e substituição (continuação)

Fixação	Desmontagem para substituição	Reparação (r) [50]
Moldura ou Caixilharia	A substituição de um elemento de revestimento é possível de forma isolada.	r2 ou r4
Sistemas de encaixe	A facilidade de desmontagem depende da concepção do sistema, mas em geral os componentes a substituir são específicos ao produto, dependendo das formas de encaixe.	r1 ou r2
Fixação para lâminas fixas ou móveis	A substituição de um elemento de revestimento é possível de forma isolada.	r2 ou r4
	Em sistemas móveis a substituição de um elemento de revestimento é possível de forma isolada, mas necessita de componentes específicos ao sub-sistema.	r2

3.5.2. COMPORTAMENTO AO FOGO

Os produtos de construção devem ter um comportamento adequado no que toca à reacção ao fogo e à resistência ao fogo. Define-se comportamento adequado como o cumprimento dos limites legais de reacção e resistência ao fogo, dependendo do local e das funções a cumprir pelo produto em causa.

A caracterização dos materiais segundo estas classificações é essencial como garantia, por parte dos fabricantes, do comportamento ao fogo desejado para os sistemas. As classificações são dadas aos produtos de construção segundo os resultados de ensaios normalizados para cada classe. No entanto, existe a possibilidade da classificação, para determinados produtos, estar tabelada, sendo desnecessária a realização de ensaios. É com base nessas tabelas que, em seguida, se pretendem classificar as diferentes soluções de revestimento tipificadas no capítulo 2.

Com a recente mudança da classificação LNEC para as euroclasses, enquadrada no processo de harmonização no âmbito da CEN, existem ainda muitos materiais cujas classes não se encontram definidas segundo a nova classificação. Por esta razão, a análise comparativa é feita com base na classificação em vigor complementada pela antiga classificação do LNEC.

3.5.2.1. Reacção ao fogo

A reacção ao fogo é um indicador que avalia a natureza, importância e significado dos fenómenos associados ao comportamento ao fogo dos materiais de construção, em termos do seu contributo para a origem e desenvolvimento de um incêndio.

A qualificação da reacção ao fogo dos materiais, na antiga classificação LNEC, compreende cinco classes, como está indicada na figura 3.4.

O sistema europeu estabelece sete euroclasses de reacção ao fogo, que podem ser definidas segundo o quadro 3.5.

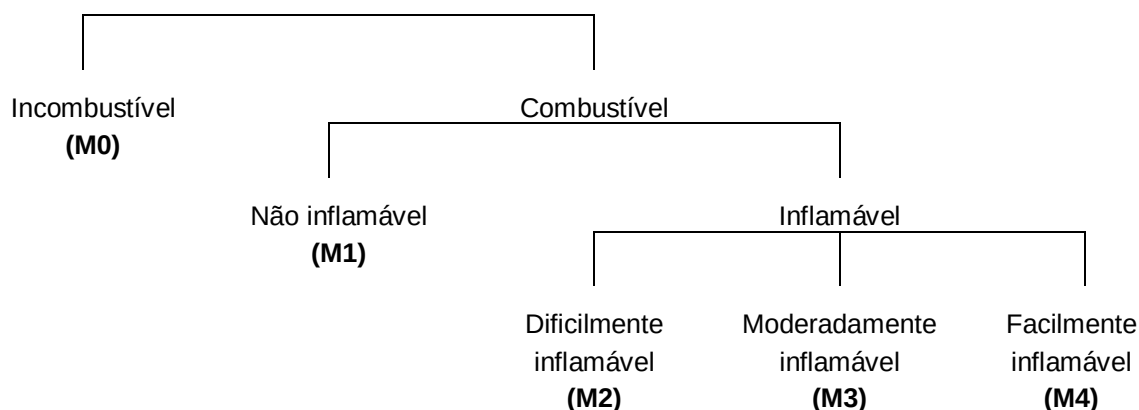


Figura 3.4 – Antiga classificação LNEC de reacção ao fogo para materiais de construção

Quadro 3.5 – Euroclasses de reacção ao fogo para materiais de construção [55]

Classes		Classificação do produto
A1	Sem contribuição para fogo	– Contém um poder calorífico muito limitado e liberta pouco calor;
A2		– Não apresenta chama; – Pequenas perdas de calor.
B	Com uma contribuição muito limitada para o fogo	– Contem um poder calorífico muito limitado e liberta pouco calor; – Pequenas perdas de massa; – Produção de fumos muito pequena; – Sem queda de partículas/gotas em chamas ou a combinação das duas.
C	Com uma contribuição moderada para o fogo	– Alastrar das chamas muito reduzido; – Muito reduzido o: – calor libertado; – fumo; – inflamação; – queda de partículas/gotas em chamas ou a combinação das duas.
D	Com uma contribuição aceitável para o fogo	– Alastrar das chamas muito reduzido; – Algum calor libertado; – O fumo libertado é reduzido; – Algum poder de inflamação; – Reduzida a queda de partículas/gotas em chamas ou a combinação das duas.
E	Com uma reacção ao fogo aceitável	– Inflamável
F	Sem classificação na reacção ao fogo	

As classes presentes no quadro 3.5 devem ainda incluir as seguintes classificações complementares:

- **s1, s2, s3** – produção de fumo (s3 corresponde à maior produção de fumo);
- **d0, d1, d2** – gotículas ou partículas incandescentes (d2 corresponde a menores intervalos de tempo que o material demora a libertar gotas ou partículas, pior comportamento).

As equivalências entre as especificações do LNEC e as do sistema europeu são as constantes no quadro 3.6.

Quadro 3.6 – Equivalência entre classificações de reacção ao fogo de produtos de construção [56]

Classificação de acordo com as especificações LNEC	Classificação segundo o sistema europeu		
	Classes	Classificação complementar	
		Produção de fumo	Queda de gotas/partículas inflamadas
M0	A1	–	–
	A2	s1	d0
M1	A2	Não exigível	d0
	B	Não exigível	d0
M2	A2	Não exigível	d1
	B		d1
	C	Não exigível	d0
			d1
M3	D	Não exigível	d0
M4	A2	Não exigível	
	B		
	C		d2
	D		
	E	–	Ausência de classificação. d2
Sem classificação	F	–	–

3.5.2.2. Resistência ao fogo

A resistência ao fogo caracteriza o comportamento dos elementos estruturais ou de compartimentação, tendo em conta a capacidade de os elementos manterem as suas funções, desde o início de um processo térmico normalizado a que o elemento é submetido até ao momento em que ele deixa de satisfazer determinadas exigências relacionadas com as referidas funções.

Tal como para a reacção ao fogo, apresenta-se em seguida a antiga classificação de resistência ao fogo de acordo com as especificações LNEC, a actual classificação segundo o sistema europeu e, por fim, a equivalência entre as duas classificações.

A qualificação da resistência ao fogo, segundo as especificações LNEC dos elementos da construção depende da função que desempenham e do grau de exigência que têm de garantir. As qualificações aplicáveis são as seguintes:

- **EF** – Estável ao fogo;
- **PC** – Pára-chamas;
- **CF** – Corta-fogo.

Esta classificação dos elementos de construção compreende, para cada uma das três qualificações acima, nove classes, correspondentes aos seguintes escalões de tempo (em minutos): 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 e 360.

A classificação do sistema europeu de desempenho ao fogo padrão para produtos de construção atende aos seguintes parâmetros, dependendo do elemento de construção em questão [56]:

- **R** – capacidade de suporte de carga;
- **E** – estanquidade a chamas e gases quentes;
- **I** – isolante térmico;
- **W** – radiação;
- **M** – acção mecânica;
- **C** – fecho automático;
- **S** – passagem do fumo;
- **P ou PH** – continuidade de fornecimento de energia e ou de sinal;
- **G** – resistência ao fogo;
- **K** – capacidade de protecção contra o fogo.

Da mesma forma, esta classificação compreende os seguintes escalões de tempo (em minutos), que neste caso são dez: 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 e 360.

As equivalências entre as especificações do LNEC e as do sistema europeu são as constantes do quadro 3.7.

Quadro 3.7 – Equivalência entre classificações de resistência ao fogo padrão de produtos de construção [56]

Função do elemento	Classificação de acordo com as especificações LNEC	Classificação segundo o sistema europeu
Suporte de cargas	EF	R
Suporte de cargas e estanquidade a chamas e gases quentes	PC	RE
Suporte de cargas, estanquidade a chamas e gases quentes e isolamento térmico	CF	REI
Estanquidade a chamas e gases quentes	PC	E
Estanquidade a chamas e gases quentes e isolamento térmico	CF	EI

3.5.2.3. Classificações de revestimentos e subestruturas

Como proposto, pretende-se confrontar o comportamento ao fogo das diferentes soluções de revestimentos e subestruturas aplicáveis em fachada ventilada. Antes de estabelecer esse confronto, convém apresentar os limites definidos pela legislação portuguesa sobre segurança contra incêndio, no que diz respeito à reacção e resistência ao fogo relativas ao elemento construtivo em análise.

A Portaria nº1532 de 2008 estabelece que, em edifícios com mais de um piso em elevação, a classe de reacção ao fogo dos elementos de revestimento descontínuos, fixados mecanicamente ao suporte e afastados das fachadas deixando uma caixa-de-ar, deve respeitar as classes indicadas no quadro 3.8.

Quadro 3.8 – Reacção ao fogo de elementos de revestimento exterior criando caixa-de-ar [57]

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

O Decreto-Lei nº220 de 2008 estabelece a classificação de desempenho de resistência ao fogo padrão para produtos de construção, estando a fachada ventilada enquadrada na aplicação referente a fachadas e paredes exteriores (incluindo elementos envidraçados), que refere as classes presentes no quadro 3.9.

Quadro 3.9 – Resistência ao fogo em fachadas e paredes exteriores (incluindo elementos envidraçados) [56]

Classificação	Duração (em minutos)					
E	15	30	60	90	120	
EI	15	30	60	90	120	
EW		20	30	60		

O referido Decreto-Lei também prevê, onde aplicável, a estabilidade mecânica que significa a inexistência de partes em colapso passíveis de causar danos pessoais durante o período da classificação E ou EI.

Após estarem estabelecidos os valores de referência legais, procede-se à análise comparativa de soluções. Esta análise aborda essencialmente a reacção ao fogo, pois é o único parâmetro que se encontra tabelado, de forma a permitir a análise sem recurso a ensaios.

As classes de reacção ao fogo presentes no quadro 3.10, relativo a revestimentos, e no quadro 3.11, relativo à subestrutura, foram obtidas através de Decisões comunitárias onde constam as classificações sem necessidade de ensaio. No entanto, estas Decisões comunitárias não abordam todos os materiais

de construção em análise, sendo as classificações, devidamente sinalizadas nos quadros, obtidas por catálogos ou outras documentações relativas ao produto de construção em causa.

Quadro 3.10 – Classificação de reacção ao fogo para diferentes materiais de revestimento

Materiais	Observações [58]	Reacção ao fogo [58]
Pedra natural	Elementos de pedra natural (magmática, sedimentar ou metamórfica) ou ardósia, trabalhados ou não.	A1
Betão	Produtos prefabricados de betão armado e pré-esforçado.	A1
	Betão com inertes minerais correntes e leves pode conter adjuvantes e aditivos (nomeadamente cinzas volantes), pigmentos e outros materiais; inclui elementos prefabricados.	
Naturocimento	Classificação referida em catálogos de soluções de fachada em naturocimento. ⁽¹⁾	A2-s1, d0 ⁽¹⁾
Metal	Classificação atribuída em documentos de homologação de sistemas de fachada ventilada com revestimento metálico. ⁽²⁾	B-s2, d0 ⁽²⁾
Cerâmico	Inclui os ladrilhos prensados a seco e os produtos extrudidos, vidrados ou não.	A1
Fenólico	Classificação atribuída em Avis Technique de sistemas de fachada ventilada com revestimento fenólico. ⁽³⁾	M1 até M3 ⁽³⁾ (A2 até D) (depende do tipo de painel)
Madeira	Placas de aglomerado de partículas de madeira	Com caixa-de-ar fechada ou aberta não mais de 22 mm atrás da placa de derivados de madeira D-s2, d0 D-s2, d2 (depende da espessura das placas)
	Placas de aglomerado de fibras de madeira, dura e semi-dura	
	MDF	
	OSB	
	Contraplacado	
Madeira	Painel de madeira maciça	
Vidro	Incluindo o vidro temperado térmica e quimicamente, bem como o vidro laminado e o vidro armado.	A1
Plástico	Classificação de painéis em policarbonato referidas em catálogos. ⁽⁴⁾	M1 ⁽⁴⁾ (A2 ou B)

Quadro 3.11 – Classificação de reacção ao fogo para diferentes materiais aplicáveis na subestrutura

Subestrutura	Observações [58]	Reacção ao fogo [58]
Madeira	Madeira estrutural, classificada de forma visual ou mecânica, com secções transversais rectangulares realizadas por serragem, por aplainamento ou por outros métodos, ou com secções transversais redondas.	D-s2, d0
Metal	Classificação atribuída, em geral, aos metais como o ferro, aço, aço inoxidável e alumínio, da qual se excluem as formas finamente divididas.	A1

(1) Informação obtida por catálogo [26]

(2) Informação obtida pelos documentos de homologação [59;60]

(3) Informação obtida em Avis Technique [61;62]

(4) Informação obtida por catálogo [63]

Os revestimentos em pedra natural, betão, cerâmicos e vidro são classificados como não contribuidores para a origem e desenvolvimento de um incêndio, sendo estas classes atribuídas em Decisões comunitárias, não necessitando da realização de ensaios para a sua determinação. A classe A1 atribuída a estes materiais não impõe qualquer restrição na aplicação destes materiais em fachadas ventiladas, no que diz respeito ao comportamento ao fogo.

As Decisões comunitárias também estabelecem a classe de reacção ao fogo para os revestimentos em derivados de madeira. No entanto, esta classificação não é tão abonatória à aplicação destes materiais como revestimento de fachada ventilada. A classe D de reacção ao fogo, definida para os derivados de madeira não permite a aplicação destes materiais em edifícios com mais de um piso em elevação.

Os restantes materiais para revestimento não estão caracterizados em nenhuma Decisão comunitária, o que significa que a aplicação desses materiais necessitará da realização de ensaios para a sua classificação de reacção ao fogo. Apesar deste facto, apresentam-se no quadro 3.10 as classes de reacção ao fogo dos restantes materiais de revestimento obtidos através de outras documentações, sendo essas classificações meramente informativas.

Enquadrando as classes do quadro 3.10 nos limites expressos no quadro 3.8, pode-se concluir, com alguma reserva, que o naturocimento não apresenta restrições na sua aplicação e os revestimentos metálicos não devem ser aplicados em edifícios de altura superior a 28 m.

A utilização de fenólicos e plásticos como revestimento de fachada deve ser analisada caso a caso, pois estes materiais podem apresentar classes de reacção ao fogo muito diferentes, dependendo da sua composição, sendo de conhecimento comum que não têm um comportamento ideal no que toca a situações de incêndio.

Uma última análise pode ser feita para a subestrutura das fachadas ventiladas. Pode-se concluir que as subestruturas metálicas são aplicáveis em qualquer uma das situações presentes no quadro 3.8, e que as subestruturas em madeira não devem ser aplicadas em edifícios com mais de um piso em elevação.

4

INTERPRETAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DAS FACHADAS VENTILADAS

Após ter sido apresentado o estado de arte e feita a análise exigencial das fachadas ventiladas, pretende-se com o presente capítulo interpretar o seu funcionamento abordando o comportamento mecânico, térmico e de estanquidade ao ar.

4.1. COMPORTAMENTO MECÂNICO

No âmbito do comportamento mecânico, desenvolvem-se as acções mecânicas mais relevantes como o peso próprio, a acção do vento e a acção dos sismos. Apresenta-se também a compatibilidade mecânica entre as formas de fixação e os suportes resistentes. Interpreta-se o comportamento mecânico do sistema de ancoragem por cavilha e por fim apresenta-se um quadro síntese que estabelece a importância de cada acção para os diferentes materiais de revestimento.

4.1.1. PESO PRÓPRIO

Para certos materiais, em especial os de grande porosidade, é necessário ter em atenção a alteração do peso provocada pelo teor de humidade, sendo predominante a absorção de água do respectivo material.

A absorção de água é a capacidade ou facilidade de um material absorver a água, e está directamente relacionada com a porosidade aberta (ou aparente) correspondente à percentagem de vazios com acesso à periferia dos elementos de revestimento. Considera-se que a porosidade é elevada quando o seu valor é superior a 10% e baixa quando aquele valor é inferior a 0,5% [11].

Esta característica tem especial relevância para os elementos de revestimento em situações de grande exposição à chuva ou quando localizadas em zonas húmidas. Nestas condições o coeficiente de absorção é muito superior, o que torna essencial considerar a absorção de água do revestimento no dimensionamento da fachada ventilada, de forma a evitar a instabilidade dos elementos de revestimento, devido a um aumento de peso não previsto.

Para os materiais que apresentem elevadas porosidades abertas, é importante que o dimensionamento do sistema seja efectuado, considerando o peso específico saturado (γ_{sat}), de forma a prever a absorção de água dos elementos de revestimento. O peso específico pode ser determinado segundo a seguinte expressão [11]:

$$\gamma_{\text{sat}} = \gamma_d \times (1 - n) + n \times \gamma_w \quad (4.1)$$

em que:

γ_d – peso específico seco do material;
 n – porosidade aberta do material;
 γ_w – peso específico da água.

4.1.2. ACÇÃO DO VENTO

4.1.2.1. Comportamento do vento

O vento é uma acção de grande relevância na concepção de uma fachada, que apresenta a dificuldade de estar em constante variação, com grande flutuação de velocidades. A constante alteração dos factores que originam as movimentações de ar atmosférico, o vento, provocam uma variação bastante irregular da sua velocidade abaixo da camada limite. A formação de turbilhões no escoamento é responsável por essas flutuações.

O registo da velocidade do vento no domínio do tempo assume de uma forma genérica a forma apresentada na figura 4.1. Verifica-se, não só a aleatoriedade do fenómeno no domínio do tempo, mas também no domínio espacial figura 4.1.

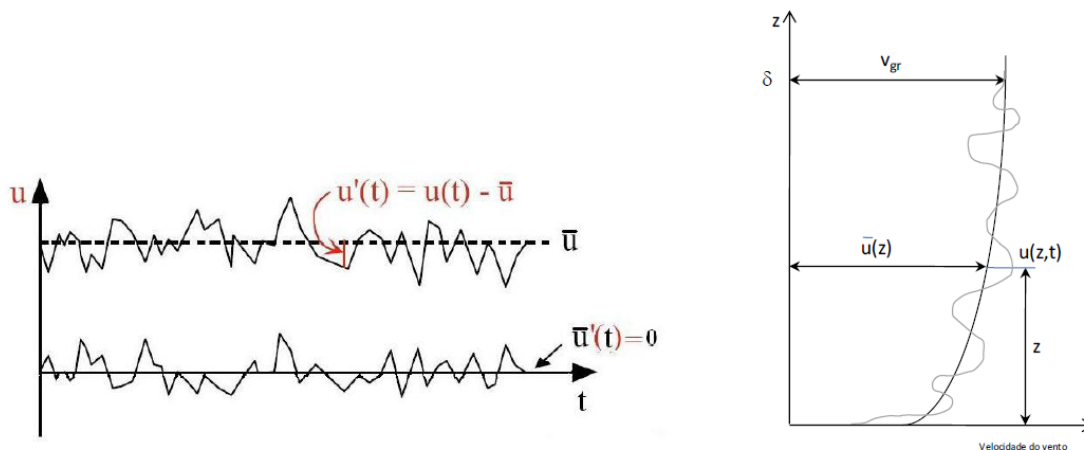


Figura 4.1 – Registo da velocidade do vento no tempo (esq.); registo da velocidade do vento em altura (dir.) [64]

Em termos médios, o vento é habitualmente caracterizado por uma velocidade crescente em altura. No entanto, como se vê na figura 4.1, as flutuações do escoamento conduzem à consideração da sobreposição de duas componentes, tal como descrito na expressão (4.2) [64].

$$u(z, t) = u(z) + u'(z, t) \quad (4.2)$$

A primeira componente de comportamento quasi-estacionário é por isso apenas função da altura ao solo e denomina-se de velocidade média do vento, $u(z)$. A segunda componente de comportamento variável é por sua vez função do tempo, como ilustrado na figura 4.1.

A soma das duas parcelas, $u(z, t)$, denomina-se velocidade de rajada. É esta velocidade que importa caracterizar adequadamente para dimensionamento em estado limite último bem como de serviço.

Os valores da pressão devido ao vento não dependem apenas da sua velocidade, mas também das condições topográficas do local, da forma e das características do edifício. O escoamento em torno dos edifícios não é uniforme, uma vez que as linhas de corrente do escoamento não seguem, em regra, a forma da secção [64].

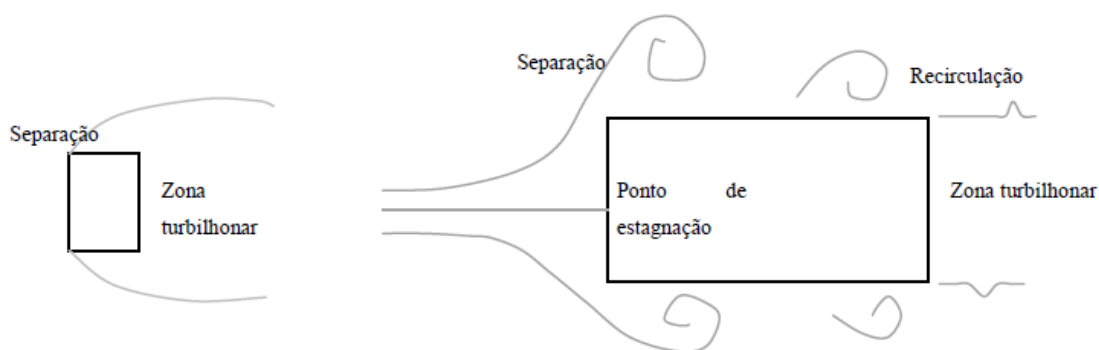


Figura 4.2 – Zonas de separação do escoamento em torno de formas rectangulares [64]

O escoamento em torno de uma secção rectangular (figura 4.2), mais comum em edifícios, causa a separação do escoamento nos vértices rectos dando origem a camadas de recirculação e formação de vórtices. A camada de separação destaca duas zonas, uma zona exterior suficientemente afastada onde o escoamento se comporta continuamente, e uma zona interior junto às faces da secção com grandes características de corte e vorticidade, na qual se enquadra a análise dos revestimentos de fachada. Esta camada, denominada camada de corte livre, é bastante instável, sendo esta formada por um lençol de vórtices que tendem a concentrar-se na zona de levantamento formando turbilhões concentrados e que se vão arrastando com o escoamento [64].

Sendo o vento uma acção de grande relevância para o dimensionamento de uma fachada e por ser um fenómeno de grande aleatoriedade, existe a norma europeia EN 1991-1-4 que define os passos e métodos de cálculo a adoptar para a determinação das pressões geradas pelo vento [N21].

Este documento apresenta os seguintes factores:

- especificações para velocidades base ou de referência para várias zonas abrangidas pelo código; Geralmente uma velocidade de referência a 10 m de altura e em terreno aberto (rural);
- factores para cálculo das variações da velocidade em altura, tipo de terreno, direcção do vento, topografia, etc.;
- coeficientes de força e pressão para várias formas geométricas de edifícios;
- contabilização de efeitos dinâmicos ressonantes em edifícios flexíveis.

A partir de uma dada velocidade, dita de referência, por aplicação dos princípios de conservação de energia é definida uma pressão de referência. A aplicação de coeficientes, ditos de pressão, que multiplicam pelo valor da pressão de referência, permite obter os valores da pressão dinâmica do vento num dado ponto da envolvente de um edifício.

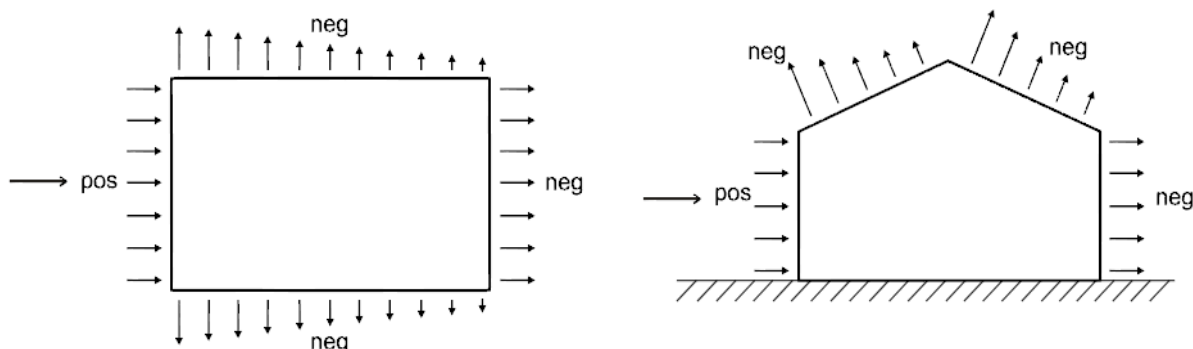


Figura 4.3 – Pressão devido ao vento em superfícies, em planta (esq.) e em corte transversal (dir.)

Na maioria dos países da Europa a velocidade de referência do vento é, em geral, definida pela média obtida em períodos de 10 minutos, medidos a 10 m do solo. Os valores da pressão dinâmica variam geralmente entre 150 Pa e 1500 Pa, podendo triplicar para edifícios altos com exposições abertas. As pressões negativas ou sucções ocorrem nas fachadas a sotavento e nas empenas que lhe são perpendiculares, e nas coberturas dos edifícios (figura 4.3). A variação da pressão é menor na zona central das paredes e os gradientes mais acentuados estão localizados nos cunhais e junto ao topo. Nos cunhais existe uma elevada pressão e na que lhe é adjacente ocorre simultaneamente sucção de forte intensidade [65].

4.1.2.2. Ensaio de resistência ao vento

Para além dos cuidados a ter na concepção e dimensionamento de uma fachada ventilada às acções do vento, é necessário testar o comportamento das fachadas por meio de ensaio.

A norma EN 12179 estabelece o método de ensaio para determinação da resistência à pressão do vento de uma fachada-cortina [N9].

O protótipo (figura 4.4) quando ensaiado a pressões máximas de ± 2000 Pa, deve cumprir os seguintes requisitos [66]:

- a deformação máxima dos perfilados que constituem a estrutura da fachada ventilada não deve exceder $L/200$, ou 15 mm, aquela que for menor, quando medida entre os pontos de suporte ou ancoragem à estrutura do edifício;
- a deformação deve ser recuperada em pelo menos 95%, ao fim de 1 hora;
- o revestimento e a estrutura não devem apresentar alterações significativas.

Este ensaio está normalmente associado aos ensaios de estanquidade à água e permeabilidade ao ar. A realização destes últimos é feita em dois momentos, antes e após o ensaio de resistência ao vento. Este procedimento permite determinar de forma mais objectiva se existe deterioração da fachada ventilada, ou seja, se o seu desempenho como fachada foi alterado.



Figura 4.4 – Protótipo de fachada para ensaio com estrutura (esq.) e revestimento (dir.) [66]

4.1.3. ACÇÃO SÍSMICA

A acção sísmica é definida na Parte 1 do Eurocódigo 8 e complementada, para o caso português pelo Documento Nacional de Aplicação (DNA) presente na Norma Portuguesa NP ENV 1998-1-1 de 2000. A aplicabilidade do Eurocódigo 8 a cada estado membro é dependente de um Documento Nacional de Aplicação (DNA) que define, para cada país, a acção sísmica com base na casualidade sísmica e nas características sismo-genéticas locais.

A definição da acção sísmica é dependente de [67]:

- zona sísmica;
- tipo de solo;
- fonte sismogénica.

A acção sísmica pode ser definida através de [67]:

- espectros de Resposta;
- espectros de Potência;
- acelerogramas artificiais, registados ou simulados.

O território nacional é dividido nas 4 zonas sísmicas representadas na figura 4.5, de acordo com o previsto no Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA).

A influência das condições locais do solo na acção sísmica é, em geral, considerada atendendo às classes de solo descritas pelos perfis estratigráficos, definidos no quadro 4.1.

O parâmetro v_s , expresso no quadro 4.1, é o valor médio da velocidade de propagação das ondas S (S é o parâmetro de caracterização do tipo de solo).

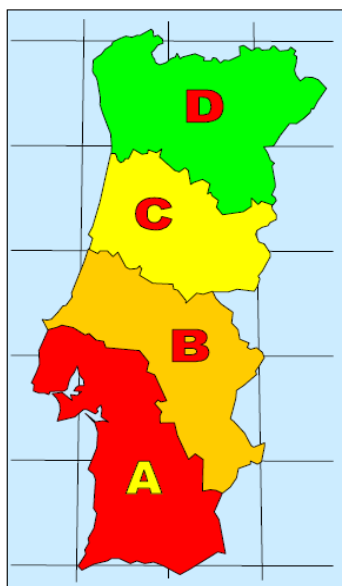


Figura 4.5 – As quatro zonas sísmicas do território português [67]

Quadro 4.1 – Descrição das classes do solo [67]

Classe do solo	Descrição	Parâmetro
A	Rocha ou formação geológica caracterizada por uma velocidade > 800 m/s de ondas de corte superior a 800 m/s, que inclua, no máximo, 5 m de material mais fraco à superfície;	$v_s > 800$ m/s
B	Depósitos rijos de areia, gravilha ou argila sobreconsolidada com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros;	$360 < v_s < 800$ m/s
C	Depósitos profundos de areia de densidade média, de gravilha, ou de argila de consistência média, com espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros.	$180 < v_s < 360$ m/s
D	Depósitos soltos de solos não coesivos, com ou sem ocorrência de algumas camadas coesivas brandas; Depósitos com solos predominantemente coesivos de fraca a média consistência.	$v_s < 180$ m/s
E	Perfil de solo com um extracto aluvionar superficial do tipo C ou D, com espessura variando entre 5 e 20 m, situada sobre um extracto mais rígido (com $v_s > 800$ m/s)	Depende do extracto
S_1	Depósitos de (ou contendo um extracto com pelo menos 10 m) argilas ou siltes brandos com elevado índice de plasticidade ($IP > 40$) e elevado teor de água	$v_s < 100$ m/s (indicativo)
S_2	Depósitos de solos com potencial de liquefacção, ou argilas sensíveis, ou outros perfis não incluídos nos tipos anteriores	Não limitado

Como a acção dos sismos é transmitida através das fundações, é essencial determinar o efeito das acelerações induzidas no edifício. É conveniente, na maioria das vezes, determinar os valores das forças induzidas pela própria resposta da estrutura do edifício, nos elementos de revestimento da envolvente.

Em certos casos, é também determinante a consideração de equipamentos que se encontrem fixados à fachada, como por exemplo o equipamento de ar condicionado.

Por último, não se pode deixar de ter em conta o comportamento do próprio revestimento. O comportamento de um elemento de revestimento rígido é diferente de um elemento flexível, com modelos de cálculo distintos.

Os elementos são considerados rígidos quando a sua frequência própria é superior a 16,7 Hz.

Os elementos são considerados flexíveis quando a sua frequência própria é inferior a 16,7 Hz.

A solução para os elementos flexíveis é mais complexa do que no caso dos elementos rígidos, pois é necessário traduzir o efeito da dupla filtragem dos movimentos sísmicos, devido não só ao edifício em si mas também ao próprio elemento. Uma avaliação da resposta dos elementos flexíveis obriga a conhecer a resposta do edifício ao nível a que esse elemento se encontra ligado e o factor de amplificação correspondente [11].

4.1.4. COMPATIBILIDADE ENTRE SUPORTES E FIXAÇÕES

Nem todas as soluções de parede apresentam resistência pontual suficiente para garantirem um suporte adequado para a fixação mecânica do revestimento exterior.

A utilização de cada tipo de fixação é determinada pelas características do suporte e pela existência ou não de sub-camada isolante. A norma NF P 65-202-1 estabelece um quadro de compatibilidades entre diversos tipos de suportes e de fixações, com e sem sub-camada isolante [N6].

O quadro 4.2 é elaborado a partir da norma NF P 65-202-1, do qual se eliminaram a fixação por agrafos, que não se enquadra nas fachadas ventiladas, e os sistemas que não fossem de fixação exclusivamente mecânica. Considerou-se ainda que o sistema inclui a sub-camada isolante, essencial quando se pretende o conforto térmico dos edifícios [N6].

Quadro 4.2 – Compatibilidade entre suportes e processos de fixação de revestimentos [N6]

Fixação	Suporte					
	Betão corrente	Betão de agregados leves	Tijolos	Blocos de betão de agregados correntes ou leves	Blocos de betão celular autoclavado	Pedra natural
Pontual	Sim	(2)	Não	Não	Não	Não
Estrutura intermédia (1)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

(1) A estabilidade da ligação da estrutura intermédia ao suporte deve ser inequivocamente assegurada.

(2) Processo de fixação admissível se a resistência característica do betão aos 28 dias de idade for ≥ 15 MPa

Pode dizer-se que a utilização de uma estrutura auxiliar não impõe qualquer restrição ao tipo de suporte oferecido pelo edifício. No entanto, uma fixação pontual apenas pode ser aplicada em suportes de betão corrente ou betão de agregados leves, dentro das condições indicadas.

4.1.5. INTERPRETAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS ANCORAGENS POR CAVILHA

Após a descrição das acções mais relevantes, pretende-se analisar o comportamento mecânico das soluções de fixação. Opta-se, em seguida, por analisar apenas um sistema, de forma a permitir um maior aprofundamento do estudo.

O sistema em análise é a ancoragem por cavilhas (figura 4.6). Esta ancoragem utiliza cavilhas que fixam os elementos de revestimento através de furações normalmente de secção circular. A solução de cavilhas aplica-se, de uma forma geral, em revestimentos de placas em pedra natural, betão ou naturocimento.

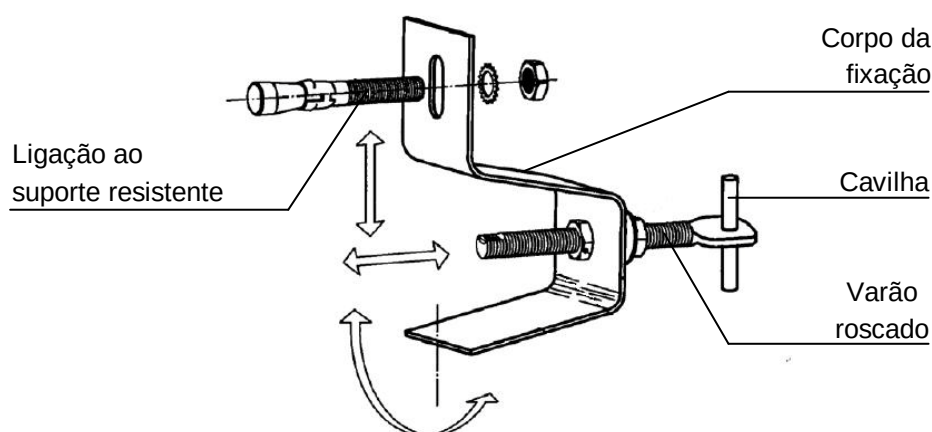


Figura 4.6 – Fixação pontual através de ancoragem por cavilhas [N6]

Nesta análise abordam-se o comportamento mecânico do elemento de revestimento, das cavilhas, dos varões roscados e do corpo da fixação.

A análise tem ainda em conta aspectos como o posicionamento das cavilhas (figura 4.7) e a inclinação dos elementos de revestimento.

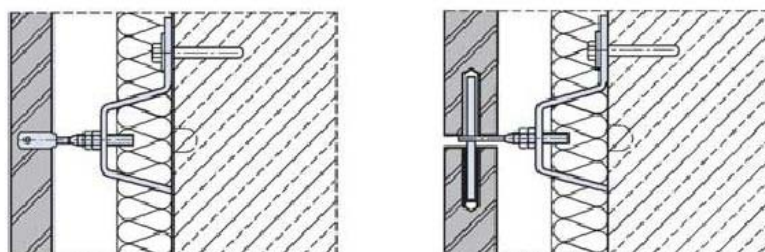


Figura 4.7 – Cortes verticais de ancoragens por cavilha em juntas verticais (esq.) e horizontais (dir.) [44]

4.1.5.1. Comportamento mecânico do revestimento

Os esforços envolvidos no comportamento mecânico de um elemento de revestimento são:

- as forças de arrancamento;
- os momentos flectores.

A fixação de ancoragem por cavilhas depende, em grande parte, da resistência nos apoios. A resistência na zona de ancoragem é quase sempre determinante, no que toca ao dimensionamento da espessura das placas. Na maioria dos casos, a espessura de uma placa depende mais da resistência no apoio, por arrancamento transversal, do que da resistência em flexão a meio vão [11].

O dimensionamento da espessura das placas, para a ancoragem por cavilhas, depende da resistência do material nas zonas de furação. É na zona de inserção da cavilha, com menor espessura devido à furação, que se origina maior concentração de tensões, originando a rotura com destacamentos típicos em cunha transversal, como está representado na figura 4.8. Na representação da figura 4.8 considera-se o seguinte [11]:

- σ_R – valor da resistência à tracção do material;
- F_p – força máxima de arrancamento transversal da cavilha;
- α – ângulo de inclinação da cunha;
- e – espessura da placa.

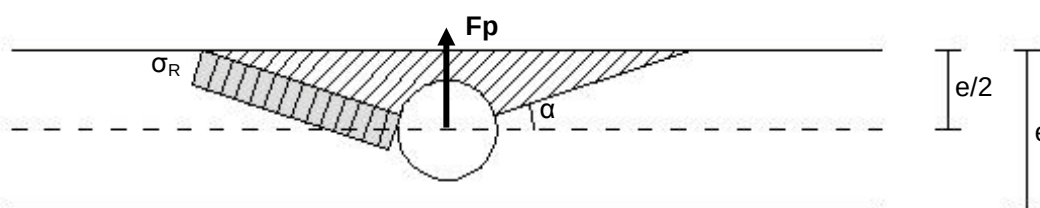


Figura 4.8 – Corte esquemático de uma placa na zona de inserção de uma cavilha [11]

Os momentos flectores têm maior importância em elementos de revestimento de grandes dimensões, sendo predominante a acção do vento. Neste tipo de placas, os momentos atingem valores superiores e as deformações envolvidas podem pôr em causa o desempenho do sistema. Para controlar estes efeitos pode-se aumentar a espessura das placas ou reduzir as suas dimensões.

A distância das cavilhas aos bordos é também um aspecto a ter em conta. Com o posicionamento das furações conseguem-se controlar as diferenças entre o valor das tensões nos bordos e nas zonas centrais da placa. Este aspecto, aliado à relação entre as dimensões L_1 e L_2 , permite determinar qual dos momentos (M_1 , M_2 e M_3) é condicionante e obter a direcção ortogonal correspondente a esse momento. Os diagramas de momentos estão esquematizados na figura 4.9.

As furações devem ser colocadas no lado de maior dimensão da placa, independente de esta se encontrar na posição horizontal ou vertical.

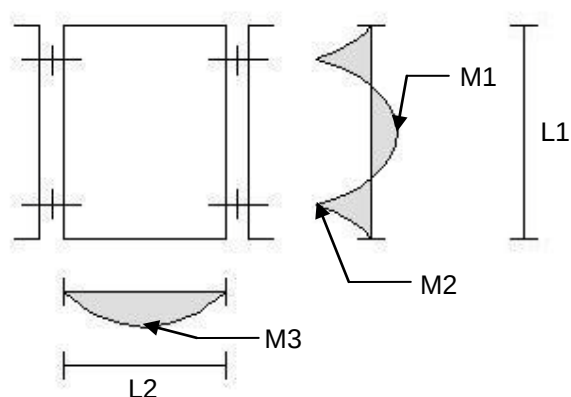


Figura 4.9 – Momentos flectores dos elementos de revestimento com ancoragem por cavilhas [11]

4.1.5.2. Comportamento mecânico da cavilha e do varão roscado

Do comportamento mecânico da cavilha e do varão roscado destaca-se a influência da colocação da ancoragem numa junta vertical ou numa junta horizontal.

Com a fixação localizada numa junta vertical, sendo P o peso total de uma placa de revestimento, o comportamento é o seguinte (figura 4.10):

- cavilhas – suportam $\frac{1}{4}$ do peso de cada placa;
- varão roscado – reúne o carregamento de cada placa, totalizando o equivalente a metade do peso P .

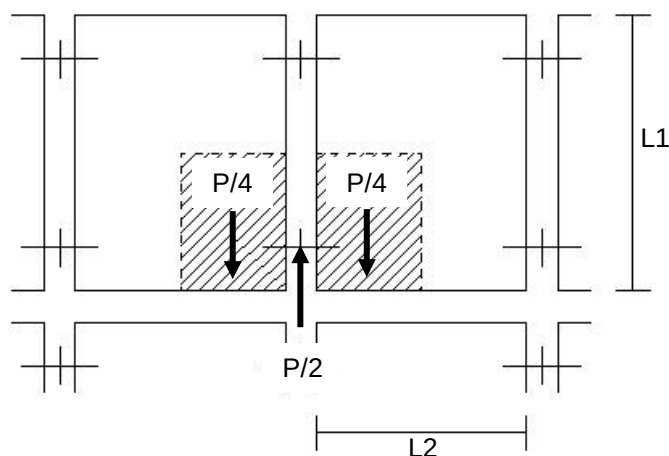


Figura 4.10 – Distribuição do peso próprio sobre a ancoragem em junta vertical

Com a fixação localizada numa junta horizontal, o comportamento é o seguinte (figura 4.11):

- cavilhas – não suportam o peso da placa;
- varão roscado – $\frac{1}{2}$ do peso da placa descarrega directamente sobre o varão roscado.

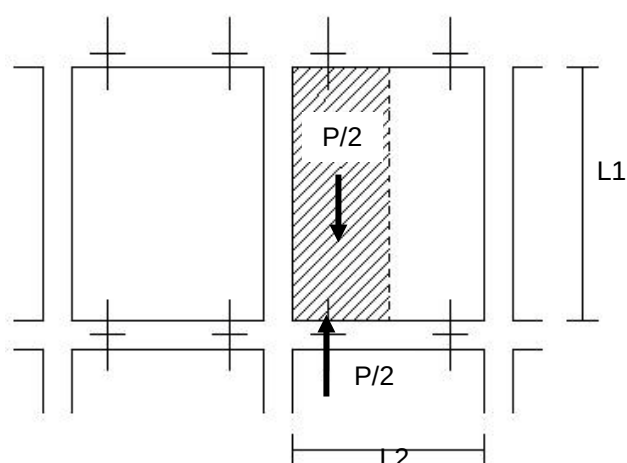


Figura 4.11 – Distribuição do peso próprio sobre a ancoragem em junta horizontal

Para além do carregamento vertical, existem ainda as acções horizontais, para as quais a utilização das juntas verticais ou horizontais levam a respostas diferentes do sistema. Os comportamentos são os seguintes:

- em junta vertical – as acções horizontais descarregam sobre as cavilhas, que transmitem, em seguida, o carregamento para o varão roscado;
- em junta horizontal – as cavilhas são apenas responsáveis pelo suporte das acções horizontais, descarregando, em seguida, no varão roscado.

Em resumo, conclui-se que as cavilhas têm funções diferentes nas duas situações apresentadas. Em juntas verticais, as cavilhas devem resistir ao corte transversal da combinação de acções verticais e horizontais transmitidas pelas placas de revestimento. Com a fixação em juntas horizontais, a resistência ao corte limitar-se-á apenas às acções horizontais, sendo a solicitação menor.

As solicitações do varão roscado são semelhantes em ambas as situações, sendo nele descarregadas directa ou indirectamente as acções correspondentes a metade do peso de uma placa mais as acções horizontais transmitidas pelas cavilhas.

4.1.5.3. Comportamento mecânico do corpo da fixação

Pretende-se analisar a influência da inclinação do revestimento na concepção do sistema de ancoragem por cavilhas. Analisam-se as duas situações apresentadas na figura 4.12.

Observa-se na figura 4.12 o facto de o sistema de fixação para revestimentos na vertical apresentar apenas um ponto de ligação, através de um parafuso, com o suporte. O sistema de fixação para revestimentos na horizontal apresenta dois pontos de ligação, destacando-se a simetria do corpo da fixação.

Estas duas abordagens devem-se essencialmente à diferente importância do momento criado pela excentricidade do sistema. No primeiro caso existe a necessidade de o corpo de fixação ser capaz de transmitir correctamente o momento criado pela distância entre o revestimento e o suporte.

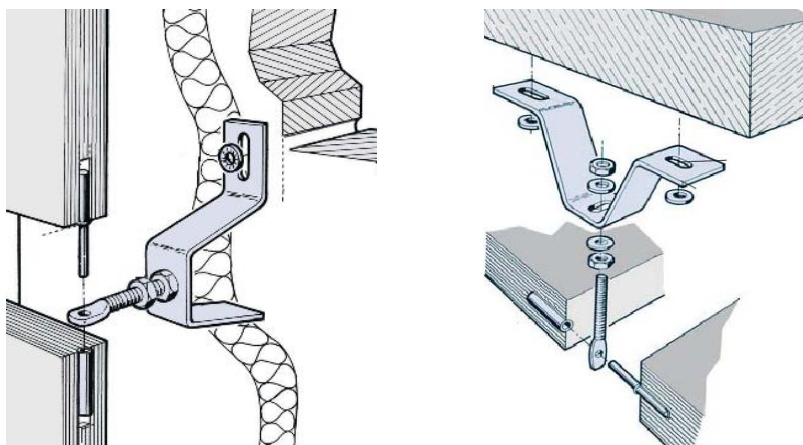


Figura 4.12 – Ancoragem por cavilhas com revestimento na vertical (esq.) e na horizontal (dir.) [44]

De forma a facilitar a explicação, elaborou-se a figura 4.13, em que as simbologias utilizadas têm os seguintes significados:

- d – distância entre o revestimento e o suporte;
- F_h e F_v – componentes horizontais e verticais, respectivamente, da solicitação do revestimento;
- R_{hi} e R_{vi} – componentes horizontais e verticais, respectivamente, das reacções do suporte i nos pontos de ligação por parafuso;
- R – reacção por contacto entre o corpo da fixação e o suporte (apenas existe segundo a direcção e sentido representados na figura 4.13).

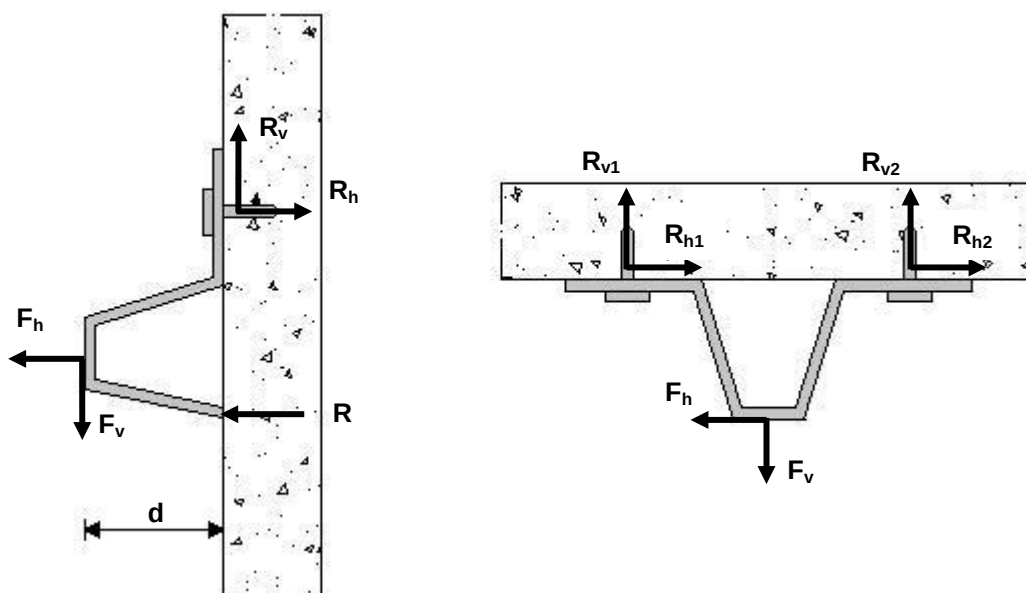


Figura 4.13 – Ancoragem por cavilhas com revestimento na vertical (esq.) e na horizontal (dir.)

Na primeira situação, em que o revestimento está na posição vertical, pode-se verificar que F_v , que corresponde ao peso do revestimento, actua a uma distância d do suporte. Esta distância cria um momento que é equilibrado pela reacção R . Esta reacção resulta da concepção do corpo de fixação, sendo o suporte do peso do revestimento garantido totalmente pelo parafuso ($R_v = F_v$).

Na segunda situação, com o revestimento na posição horizontal, a importância do momento é substancialmente inferior. Nesta situação, F_h corresponde a valores muito inferiores a F_v , sendo as solicitações perpendiculares ao suporte preponderantes. Por esta razão, é importante a ligação ser feita por dois parafusos de forma simétrica.

Após analisadas ambas as soluções, conclui-se que a concepção do sistema é importante para a correcta transmissão dos esforços ao suporte ou estrutura auxiliar. Destacam-se as especificidades presentes em cada sistema de fixação, salientando-se a necessidade da análise ser feita para cada solução particular, dependendo não só da tipologia da fixação, mas também da forma e local onde será montado.

Fazendo um comentário final, destaca-se a importância de os revestimentos serem capazes de resistir ao seu peso próprio quando posicionados com inclinações acentuadas ou mesmo na horizontal.

4.1.6. IMPORTÂNCIA DAS ACÇÕES PARA DIFERENTES REVESTIMENTOS

Na concepção de um sistema de fachada ventilada, conhecer o comportamento do revestimento é essencial. Com uma variedade de materiais aplicáveis tão grande, é de grande utilidade identificar as acções mais condicionantes para cada material. São as características dos materiais e a forma como se comportam durante o funcionamento que condicionam os sistemas de fixação a utilizar.

Neste contexto elaborou-se o quadro 4.3, onde se classifica de forma qualitativa a importância de cada acção, descrita anteriormente, no comportamento do revestimento. Esta classificação foi feita para os diferentes materiais abordados no capítulo 2. Com esta classificação, não se pretende dizer que se devem ignorar as acções de pouca importância, mas sim identificar, de uma forma relativa, quais as acções mais gravosas para cada solução.

O aspecto mais condicionante, no que toca ao peso próprio, é a absorção de água. Em materiais que absorvem muita água, o peso varia de forma significativa. Este aumento de peso pode, caso o dimensionamento não preveja este efeito, pôr em causa a resistência mecânica e estabilidade. Tendo em conta este aspecto, os materiais que podem apresentar pior comportamento são a pedra natural, o betão e a madeira. O betão é o material mais variável no que toca à sua porosidade, dependendo da sua composição. Pode-se ter betões não absorventes como o polímero até betões celulares com grande porosidade.

A classificação da acção do vento é um pouco mais subjectiva. Um dos aspectos tidos em conta tem a ver com as dimensões dos painéis. O vento manifesta-se como pressões nas superfícies do revestimento. Quanto maiores as superfícies, maior será a força desestabilizadora. A classificação é feita considerando que os materiais que apresentem grandes dimensões e pesos próprios pequenos, sejam mais sensíveis à acção do vento. O peso é entendido, neste contexto, como força estabilizadora. Destacam-se neste grupo materiais como o metal, o fenólico e o vidro.

Quanto à acção dos sismos, os materiais com pesos próprios elevados, aquando de um sismo, exercem também forças elevadas sobre a estrutura de fixação. São estes materiais que necessitam de maior cuidado no dimensionamento das fixações em situações de sismo. Destacam-se neste outro grupo materiais como a pedra natural e o betão. Considerou-se também que o vidro apresenta mau

comportamento em situação de sismo, porque é um material frágil, em que as vibrações põem em causa a sua resistência.

Quadro 4.3 – Níveis de importância de cada uma das acções para diferentes materiais de revestimento

Materiais	Peso próprio	Vento	Sismos
Pedra natural	Média importância	Média importância	Grande importância
Betão	Grande/Média/Pouca importância	Média importância	Grande importância
Naturocimento	Pouca importância	Grande/Média importância	Média/Pouca importância
Metal	Pouca importância	Grande importância	Pouca importância
Cerâmico	Média/Pouca importância	Pouca importância	Média importância
Fenólico	Pouca importância	Grande importância	Pouca importância
Madeira	Grande importância	Média/Pouca importância	Média/Pouca importância
Vidro	Pouca importância	Grande importância	Grande importância
Plástico	Pouca importância	Grande/Média importância	Pouca importância

4.2. COMPORTAMENTO TÉRMICO

O facto de a fachada ventilada ser uma solução que implementa o isolamento térmico pelo exterior, é por si só um aspecto vantajoso que permite eliminar as pontes térmicas, causadoras de muitas patologias nos edifícios de hoje. Mas a fachada ventilada apresenta outros aspectos importantes, que se pretendem desenvolver em seguida, como o efeito pára-sol do revestimento e a importância da inércia térmica no comportamento térmico dos edifícios.

No final deste sub-capítulo, desenvolve-se o sistema DSF, que é uma solução de fachada de duplo paramento em vidro, que tenta solucionar os fracos desempenhos energéticos deste tipo de soluções.

4.2.1. CONTINUIDADE DO ISOLAMENTO TÉRMICO

Ao isolar uma parede, há que ter em conta a presença de eventuais pontes térmicas, zonas que, por não estarem isoladas termicamente, têm uma resistência térmica inferior à da restante envolvente, representando uma descontinuidade onde se poderá verificar a ocorrência de patologias com origem em fenómenos de condensação.

Exemplos destas heterogeneidades na envolvente vertical dos edifícios são:

- os elementos estruturais como topos de laje, vigas e pilares;
- vãos e, nomeadamente, caixas de estore.

A fachada ventilada é um sistema que incorpora a utilização de isolamento pelo exterior que elimina a maioria das pontes térmicas, como os topos de laje, vigas e pilares.

No entanto, certas soluções de fachada apresentam pouca preocupação em garantir a continuidade do isolamento, em que os perfis de fixação do revestimento interrompem essa continuidade (figura 4.14). Para evitar a descontinuidade do isolamento, a ligação entre o elemento base (parede) e a estrutura de fixação do revestimento deve ser feita por perfis, de forma a minimizar essas descontinuidades (figura 4.15). Assim garante-se o bom comportamento energético da zona opaca da fachada.

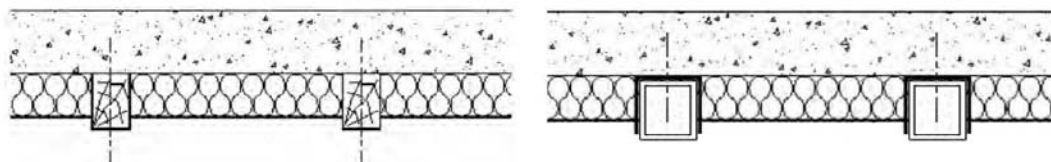


Figura 4.14 – Interrupção de isolamento pela estrutura em madeira (esq.) e metálica (dir.) [N6]

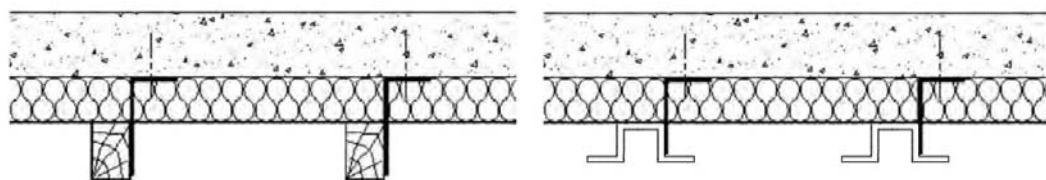


Figura 4.15 – Soluções de continuidade de isolamento para estrutura em madeira (esq.) e metálica (dir.) [N6]

4.2.2. EFEITO PÁRA-SOL

Em dias muito quentes, em que a radiação solar é intensa, a protecção das superfícies opacas dos edifícios contra o Sol é de grande importância. O elemento pára-sol, neste caso o revestimento da fachada ventilada, permite reduzir substancialmente a energia solar absorvida pela fachada.

No entanto, a existência de juntas abertas pode prejudicar a eficiência do sistema, existindo penetração da radiação solar pelas juntas, com a consequente reflexão nas superfícies limites da caixa-de-ar.

O comportamento dos elementos envolvidos é o seguinte (figura 4.16):

- **Pára-sol** – A energia solar incidente é repartida em duas partes, a energia reflectida e a energia absorvida, esta última responsável pelo aquecimento do pára-sol; Esta energia absorvida é dissipada para o exterior por radiação (ondas de grande comprimento) e por convecção; A energia não dissipada transmite-se para a superfície interior do pára-sol por condução; Em seguida, parte desta energia dissipa-se de duas formas, por convecção na lâmina de ar e por radiação da superfície interior do pára-sol;
- **Parede** – A parede absorve a energia transmitida pela lâmina de ar por convecção; O resto é transmitido por condução e dissipa-se no interior por convecção e radiação.

Para garantir a melhor eficiência possível do paramento, a fachada deve ter:

- Um pára-sol muito refletante sobre a face exterior;
- Uma face interior do pára-sol e uma face exterior da parede com baixa emissividade para limitar as trocas por radiação entre estas duas faces;

- Uma lâmina de ar ventilada pode aumentar a dissipação por convecção na lâmina de ar;
- Uma parede de boa resistência térmica pode reduzir a transmissão por condução para o interior.

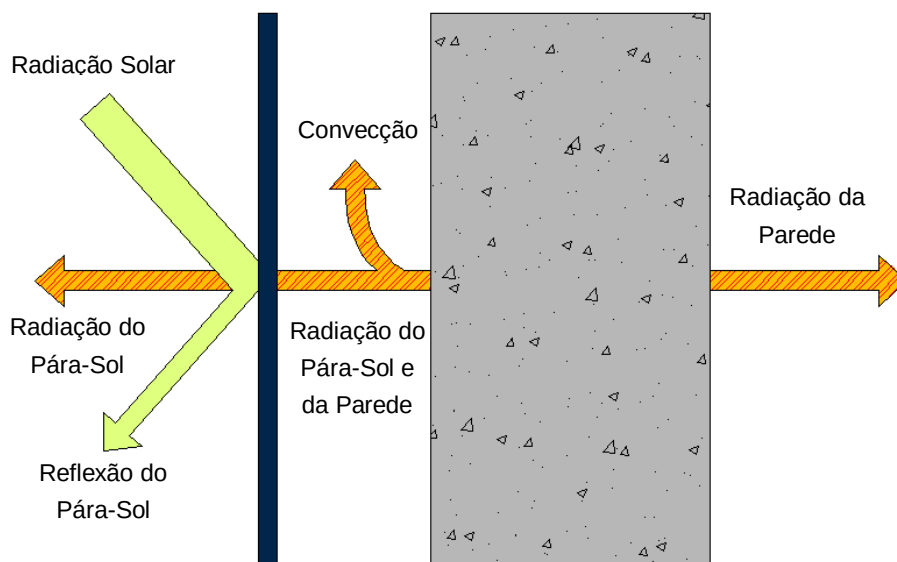


Figura 4.16 – Trocas energéticas numa parede opaca com pára-sol

4.2.3. INÉRCIA TÉRMICA

A inércia térmica de um edifício é a sua capacidade de contrariar as variações de temperatura no seu interior devido à capacidade de acumular calor nos seus elementos de construção. A velocidade de absorção e a quantidade de calor absorvida determina a inércia térmica dum edifício.

A inclusão de soluções com elevada inércia térmica na região do clima mediterrânico tem sido uma técnica generalizada, com o objectivo de assegurar condições de conforto térmico no interior de edifícios. A inércia térmica é especialmente relevante em climas sujeitos a grandes amplitudes térmicas em curtos espaços de tempo, uma das características do clima em Portugal. São os materiais pesados e maciços que constituem a inércia térmica dos edifícios e, quando bem aplicados, conferem aos espaços interiores uma maior estabilidade térmica (figura 4.17). Como é indicado pela palavra “inércia”, estes materiais pesados interagem muito lentamente com as temperaturas do meio que os rodeia e armazenam as respectivas temperaturas médias, porque as temperaturas de pico (quente e frio) não se mantêm durante tempo suficiente para serem acumuladas por estes materiais.

Em Portugal, a temperatura média do clima, durante a maior parte do ano, mantém-se entre os 18 e os 26°C, contribuindo a inércia térmica, por este motivo, para uma grande estabilidade do clima no interior e para o conforto.

Uma vez armazenada a temperatura média ambiental, a interacção de um elemento de construção maciço com o clima interior é muito positiva, porque irradia continuamente para os espaços interiores a mesma temperatura média que armazenou.

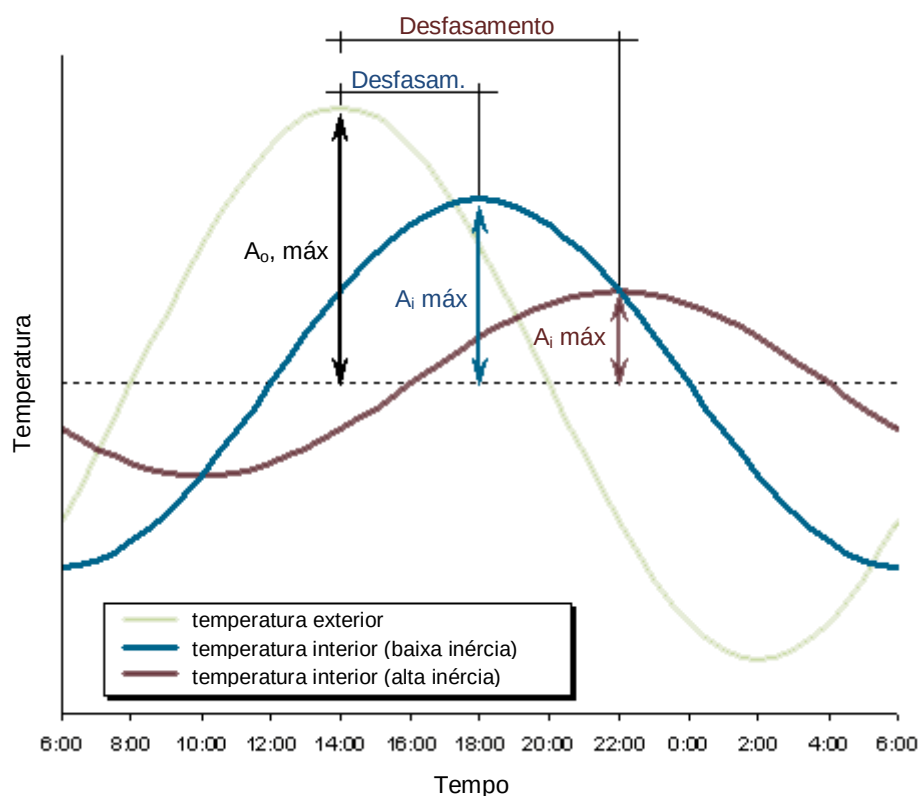


Figura 4.17 – Evolução das temperaturas para diferentes inércias térmicas [68]

A conjugação da medida “inércia térmica” com a medida “ventilação natural” torna-se especialmente importante durante as noites de Verão, porque permite que o calor acumulado nos materiais pesados seja libertado durante a noite, e seja restabelecida a capacidade de acumular e absorver o calor excessivo durante o dia seguinte, mantendo o ambiente interior confortável. Este ciclo, quando bem gerido, pode conferir, durante o Verão, o conforto que se deseja nos espaços interiores de uma habitação, sem ser necessário recorrer a sistemas mecânicos de climatização.

A inércia térmica implica a utilização de materiais pesados na construção (betão, tijolos, pedra, ...). No entanto, com o objectivo de reduzir o tempo de construção, surgem cada vez mais soluções de construção de edifícios leves (com estruturas metálicas ou em madeira) que diminuem significativamente o tempo de montagem. Em contrapartida, a adopção desta solução leva, em muitos casos, a inércias térmicas reduzidas, contribuindo para fracos desempenhos energéticos do edifício, e o consequente desconforto dos seus habitantes. Quando adoptadas soluções de construção de edifícios leves deve-se ter em especial atenção este aspecto.

A inércia térmica, apesar de não ser um desempenho intrínseco ao sistema “fachada ventilada”, deve ser tida em conta no desempenho de toda a parede de fachada.

4.2.4. DESEMPENHO DO SISTEMA DSF

Para edifícios altos, os arquitectos recorrem com frequência a fachadas revestidas, quase exclusivamente, com vidro. Esta escolha acarreta, no entanto, problemas de eficiência energética,

conforto térmico e conforto visual para quem habita estes edifícios. O desempenho energético óptimo requer o balanço adequado de paredes opacas com envidraçados.

O sistema *double skin façade* (DSF) é uma solução de fachada ventilada que incorpora dois paramentos envidraçados separados por uma caixa-de-ar ventilada naturalmente ou mecanicamente. Esta caixa-de-ar incorpora ainda no seu interior um sistema de protecção solar. Os vidros a adoptar dependem da estratégia de ventilação utilizada, se o ar aspirado provem do interior ou exterior, e se a evacuação do mesmo é feita para o interior ou para o exterior.

A figura 4.18 mostra a simulação da radiação de ondas curtas, velocidade do ar e temperatura do ar, num sistema DSF.

Sendo o sistema constituído por dois paramentos em vidro, a penetração da radiação solar no interior do edifício é controlada pelas protecções solares colocadas na cavidade, como se vê na simulação do fluxo de radiação solar da figura 4.18 (1). No entanto, esta radiação aquece a lâmina de ar presente na cavidade, sendo obrigatório, para garantir conforto, a sua constante renovação.

A ventilação da caixa-de-ar é essencial, mas deve-se ter cuidado com as velocidades excessivas da lâmina de ar. Observando a distribuição de velocidades na cavidade (figura 4.18 (2)), conclui-se que as velocidades mais elevadas ocorrem no contorno dos elementos estruturais de suporte do revestimento. Este facto, se não for tido em conta, pode provocar vibrações na estrutura que dão origem a ruídos, provocando desconforto aos habitantes. Para prever este anomalia, a escolha do sistema mecânico de ventilação deve ser ponderado, ou se a ventilação for natural, a altura da cavidade deve ser limitada.

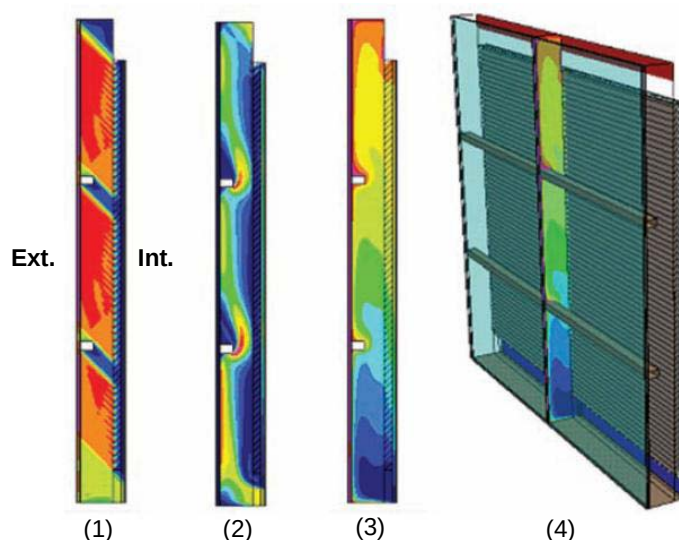


Figura 4.18 – Simulação computacional de um sistema DSF: (1) previsão do fluxo de radiação solar que atravessa a cavidade; (2) previsão da distribuição de velocidades do ar; (3) previsão da distribuição de temperaturas do ar; (4) configuração mecânica do sistema ventilado DSF [69]

As caixas-de-ar de grande altura apresentam outro aspecto negativo, as elevadas temperaturas criadas no topo da cavidade. Como se vê na simulação presente na figura 4.18 (3), apesar da existência de ventilação, as temperaturas tendem a aumentar ao longo da altura da cavidade. Quanto maior for a altura da cavidade, maior é o risco de as temperaturas no topo da lâmina de ar serem altas. Para reduzir

este risco, é recomendável as cavidades deste sistema apresentarem alturas de piso, tornando a ventilação mecânica a solução mais indicada.

Ao longo de um dia o fluxo de radiação solar muda drasticamente. Para se obter a máxima eficiência, sendo desnecessário o gasto de energia para ventilar mecanicamente quando não é preciso, os fluxos de ventilação devem variar ao longo do dia, com volumes de ventilação máximos nas horas de pico de calor e volumes mínimos durante a noite.

4.3. COMPORTAMENTO DE ESTANQUIDADE AO AR

A estanquidade ao ar de uma fachada ventilada deve ser analisada segundo duas interfaces, a parede interior e o revestimento da fachada.

A garantia de estanquidade ao ar do espaço interior deve ser garantida pela parede e não pelo revestimento. No presente estudo, não se pretende desenvolver este assunto.

A estanquidade ao ar do revestimento é variável, dependendo dos tipos de juntas utilizadas entre os elementos descontínuos e o próprio revestimento, sendo mais correcto falar-se de permeabilidade ao ar. Os diferenciais de pressão entre a caixa-de-ar e o exterior podem ser de grande relevância tanto para o seu comportamento mecânico, como para a boa ventilação do espaço de ar.

A pressão que o ar exerce na fachada de um edifício tem, em geral, origem na presença isolada ou simultânea de três efeitos independentes:

- o efeito chaminé;
- o efeito produzido pelos sistemas mecânicos de ventilação e ar condicionados;
- o efeito devido à acção do vento.

Desenvolvem-se em seguida cada um destes efeitos.

4.3.1. ESTRATÉGIAS DE VENTILAÇÃO

A ventilação, como já foi enfatizado ao longo da presente exposição, é essencial tanto para garantir o bom comportamento higrotérmico, sem infiltrações ou condensações, como para um bom comportamento em dias quentes, dissipando grande parte do calor transmitido por radiação solar.

Esta ventilação pode ser natural ou mecânica, existindo as estratégias esquematizadas na figura 4.19.

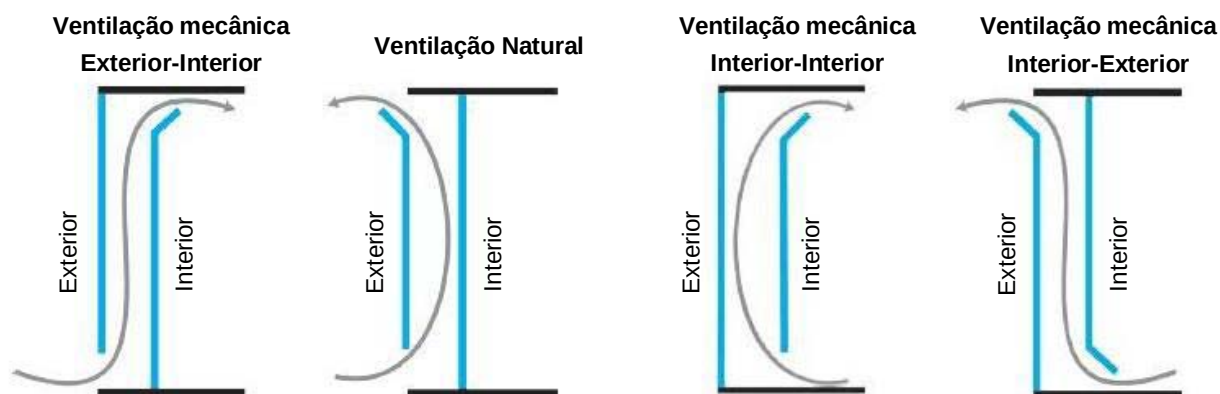


Figura 4.19 – Estratégias de ventilação envolvendo o ar interior e/ou exterior [69]

Na generalidade das soluções de fachada ventilada é adoptada a ventilação natural. É a estratégia tradicional, mais fácil de implementar e não apresenta custos de funcionamento do equipamento mecânico de ventilação. A aplicação de soluções de ventilação mecânica não faz muito sentido para fachadas ventiladas tradicionais, pois é a parede interior que garante o isolamento térmico e a estanquidade ao ar do espaço interior, sendo os revestimentos opacos responsáveis pela protecção da lâmina de ar contra as radiações solares.

As restantes estratégias são aplicadas quase em exclusivo às fachadas de duplo paramento em vidro (DSF), em que a ventilação é essencial para garantir o conforto dos habitantes que se encontrem perto dos envidraçados. O aquecimento da lâmina de ar tem maior importância, pois o paramento exterior não é opaco, não oferecendo oposição à entrada da radiação solar. O facto de a ventilação ser mecânica, permite a variação de fluxo de ar ventilado na caixa-de-ar, essencial para impedir o aquecimento excessivo da lâmina de ar. Por esta razão, a ventilação natural não é a estratégia mais adequada para estes sistemas. Para além de não permitir controlar a ventilação, é muito comum a acumulação de poeira e poluição, que prejudica em especial estes sistemas, em que a fachada não é opaca, havendo custos acrescidos na sua limpeza, o que elimina a vantagem económica da utilização da ventilação natural.

A escolha das características dos vidros a aplicar em cada paramento de um DSF deve depender da estratégia de ventilação adoptada, em especial no que toca à sua condutibilidade térmica.

4.3.2. EFEITO CHAMINÉ

A diferença de pressão originada pelo efeito chaminé, depende da diferença de alturas e de temperaturas entre as aberturas inferiores e superiores (figura 4.20). Os valores da diferença de pressão por efeito de chaminé situam-se entre 5 e 10 Pa em edifícios de pequena altura e entre 50 a 150 Pa em edifícios altos [65].

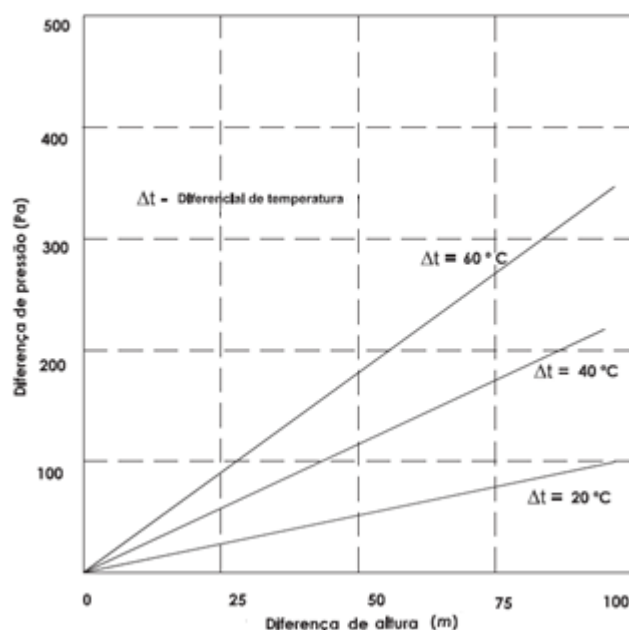


Figura 4.20 – Representação esquemática do efeito de chaminé em edifícios [65]

4.3.3. INTERFERÊNCIA DO VENTO NA CAIXA-DE-AIR

O equilíbrio das pressões resultantes do efeito de chaminé ou dos sistemas de ventilação e ar condicionado é relativamente simples. A diferença de pressões é praticamente constante e actua, em todas as superfícies da envolvente, no mesmo sentido, para o interior ou para o exterior do edifício.

Os valores da pressão devido ao vento variam muito, ao contrário dos anteriores efeitos, dependendo da sua velocidade, das condições topográficas do local e da forma e das características do edifício, como já foi mencionado no sub-capítulo 4.1.2.

O vento, mesmo a velocidade constante, ao contornar o volume da construção dá origem a diferenciais de pressão devido à própria geometria dos edifícios. As pressões numa fachada não só variam de ponto para ponto como também variam, em instantes curtos, no tempo.

Para juntar a estas condicionantes, as pressões do vento podem atingir valores superiores aos outros efeitos mencionados.

Por estas razões, a acção do vento perturba a natural ventilação da caixa-de-ar (figura 4.21). Esta perturbação cresce com o aumento da permeabilidade ao ar do revestimento. A permeabilidade é afectada pelas características das juntas e pela estanquidade dos próprios elementos de revestimento, podendo ser perfurados ou não.

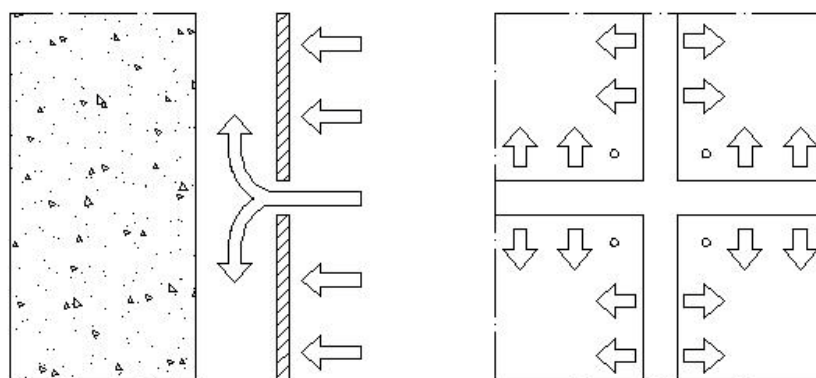


Figura 4.21 – Movimentos do ar na cavidade devido ao vento - corte transversal (esq.) e vista frontal (dir.)

Em juntas abertas, sem preenchimento, são as suas dimensões que condicionam a permeabilidade ao ar, considerando os elementos de revestimento como perfeitamente estanques. As correntes de ventilação criadas vão depender da direcção e da aleatoriedade do vento, tanto no espaço como no tempo.

Este efeito do vento pode ser utilizado de duas formas. A primeira, e mais comum, é reduzir ao máximo a interferência do vento na ventilação natural ou mecânica da cavidade. Existem as seguintes duas estratégias (figura 4.22):

- maximizar a perda de carga aumentando o percurso do ar pela junta, colocando obstáculos ao seu percurso;
- utilização de um perfil de junta, tornando a junta estanque.

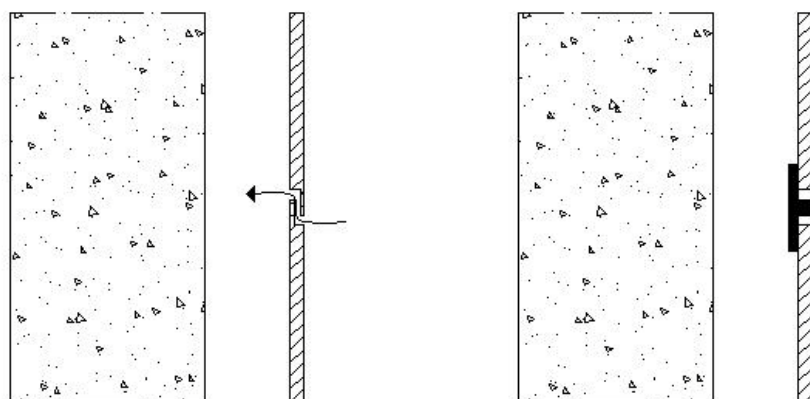


Figura 4.22 – Estratégias para melhorar a estanquidade ao ar – junta sobreposta (esq.) e perfil de junta (dir.)

A segunda estratégia, utilizada no sistema de fachada pressurizável, utiliza a pressão exercida pelo vento no tardo do revestimento, para diminuir a diferença de pressão entre o exterior e a caixa-de-ar, diminuindo a permeabilidade à água do revestimento e reduzindo de forma significativa as acções sobre o revestimento e elementos de suporte. Este desempenho é conseguido através da compartimentação estratégica da caixa-de-ar.

Independentemente da estratégia adoptada, existe a norma EN 12153 de fachada-cortina que estabelece o método de ensaio, em que são aplicadas uma série de diferenciais de pressão do ar a um protótipo, de forma a determinar a permeabilidade ao ar do revestimento em cada etapa. O diferencial de pressão máximo positivo e negativo é 600 Pa, sendo alcançado pelas seguintes etapas: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 450 e 600 Pa [N19;66].

Esta norma estabelece como requisito a permeabilidade ao ar de $1,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ para os diferenciais de pressão de 150 a 600 Pa [66].

5

CONCLUSÕES

5.1. CONCLUSÕES GERAIS

As principais conclusões retiradas sobre o estado de arte das fachadas ventiladas, com base na pesquisa do mercado e algumas documentações técnicas, são as seguintes:

- os conceitos de fachada ventilada e fachada-cortina distinguem-se essencialmente pela existência de uma caixa-de-ar, correctamente dimensionada para haver ventilação;
- a fachada pressurizável é um sistema em desenvolvimento que poderá ser um passo evolutivo das anteriores, no qual a caixa-de-ar se encontra estrategicamente compartimentada, de forma a equilibrar as diferenças de pressão entre o interior e o exterior; isto permite melhorar a estanquidade e reduzir significativamente as acções a que está sujeita;
- os elementos de revestimento podem ter dimensões variadas; podem ser de reduzidas dimensões faciais, grandes dimensões faciais ou em forma de régua ou lâmina;
- os elementos de revestimento numa fachada ventilada devem ter as suas dimensões moduladas segundo o módulo M;
- os painéis podem apresentar diversos tipos de superfícies como planas, curvas, perfiladas, perfuradas e régua ou lâminas;
- as superfícies mais utilizadas em fachadas ventiladas são as planas, as perfiladas e as régua ou lâminas;
- as superfícies curvas são de difícil implementação e as superfícies perfuradas têm fracos desempenhos de estanquidade à água;
- podem-se ter três tipos de juntas: as juntas abertas, as juntas sobrepostas e as juntas com a utilização de perfis;
- as juntas sobrepostas e com perfis de juntas são soluções mais estanques que a junta aberta;
- as juntas abertas devem ter espessuras de junta entre 6 e 25 mm;
- os materiais tipicamente utilizados em revestimentos são: pedra natural, betão, naturocimento, metal, cerâmico, fenólico, madeira, vidro e plástico;
- os painéis em betão GRC (*Glassfibre Reinforced Concrete*) começam a ser uma solução muito utilizada, devido as suas grandes dimensões, pequenas espessuras e peso próprio reduzido;
- os painéis metálicos são uma solução muito popular, pela sua leveza e as formas ilimitadas;

- o revestimento em lâminas metálicas está a começar a ser muito utilizadas por razões arquitectónicas, pois permite realizar fachadas continuas, sem interrupções na passagem da zona opaca para as aberturas, funcionando também como protecção solar;
- existem soluções em cerâmico com as mesmas potencialidades arquitectónicas das lâminas metálicas;
- o vidro é um material muito utilizado em fachadas pela sua qualidade estética e transparência;
- o plástico é o material menos utilizado em fachadas ventiladas;
- existem já alguns edifícios protótipo para analisar o desempenho de revestimentos com painéis fotovoltaicos;
- os sistemas de fixação utilizados em fachadas ventiladas são: a ancoragem por cavilhas ou discos, a ancoragem por grampos, a ancoragem linear, a ancoragem no tardo, a fixação por parafusos ou rebites, molduras ou caixilharia, os sistemas de encaixe e a fixação de lâminas fixas ou móveis;
- a ancoragem por cavilhas, a ancoragem por grampos e a ancoragem linear são as soluções de fixação mais comuns para os revestimentos de pedra natural, betão e naturocimento;
- a ancoragem no tardo por sistema de suspensão é a solução mais utilizada para revestimentos pesados, nomeadamente soluções em betão e pedra natural de grandes dimensões;
- a fixação de lâminas fixas ou móveis é uma solução inovadora, muito popular para materiais como o metal e o vidro.

Pela pesquisa de normas e pela análise exigencial feita conclui-se que:

- os requisitos de desempenho definidos na norma portuguesa sobre fachadas-cortina podem ser aplicados, com o devido cuidado, às fachadas ventiladas;
- existem já alguns sistemas de fachada ventilada no mercado ensaiados segundo as normas de fachada-cortina;
- existe já muita documentação francesa, nomeadamente *Cahiers des Prescriptions Techniques* e *Avis Technique*, que abordam o sistema “bardages rapportés”, a designação francesa para os sistemas de fachada ventilada, com informação técnica importante;
- os sistemas de fixação, em situações de manutenção ou reabilitação, são em geral de difícil desmontagem, pois precisam da remoção do revestimento numa área muito superior à que necessita de intervenção;
- os revestimentos e as estruturas secundárias em madeira têm um comportamento fraco ao fogo, o que impede a sua utilização em edifícios com mais de um piso em elevação;
- a classe de reacção ao fogo dos fenólicos varia muito com a sua composição, devendo a sua utilização ser feita com precaução.

As conclusões tiradas da interpretação feita sobre o comportamento mecânico, térmico e de estanquidade das fachadas ventiladas são as seguintes:

- a porosidade aberta dos elementos de revestimento é uma característica de grande importância pois está associada à absorção de água do material, e a um aumento significativo de peso que pode pôr em causa a segurança estrutural e levar à queda do revestimento, nomeadamente em materiais como a pedra, o betão e a madeira;
- para os materiais que apresentem elevadas porosidades abertas, o dimensionamento do sistema deve ser efectuado considerando o peso específico saturado;

- a acção do vento varia no domínio do tempo e do espaço, sendo importante a determinação da velocidade de rajada;
- os valores da pressão dinâmica variam geralmente entre 150 Pa e 1500 Pa, podendo triplicar para edifícios altos com exposições abertas;
- as pressões negativas ou sucções ocorrem nas fachadas a sotavento e nas empenas que lhe são perpendiculares, e nas coberturas dos edifícios;
- a variação da pressão do vento é menor na zona central das paredes e os gradientes mais acentuados estão localizados nos cunhais e junto ao topo;
- nos cunhais existe uma elevada pressão do vento e na que lhe é adjacente ocorre simultaneamente sucção de forte intensidade;
- em situações de sismos, em certos casos, é determinante considerar os equipamentos que se encontrem fixados à fachada, como por exemplo o equipamento de ar condicionado;
- o comportamento de um elemento de revestimento rígido é diferente de um elemento flexível, com modelos de cálculo distintos;
- os sistemas de fixação pontual apenas podem ser aplicados em suportes de betão corrente ou betão de agregados leves, dentro de certas condições;
- a aplicação dos sistemas de fixação com estrutura intermédia não apresenta qualquer restrição na sua aplicação;
- no dimensionamento da espessura das placas para sistemas por cavilhas, são as forças de arrancamento que condicionam o cálculo;
- os momentos flectores têm maior importância em revestimentos de grandes dimensões, atingindo valores superiores e deformações significativas que podem pôr em causa o correcto desempenho do sistema;
- a ancoragem por cavilhas em juntas verticais recebe carregamentos superiores às ancoragens em juntas horizontais, pois suportam mais o peso do revestimento;
- a correcta concepção do corpo de fixação da ancoragem por cavilhas deve ser de forma a transmitir correctamente os momentos devidos à distância existente entre o suporte e o revestimento;
- o dimensionamento da espessura dos elementos de revestimento em fachadas com inclinações acentuadas deve ter em conta o seu peso próprio;
- a fachada ventilada proporciona a colocação de isolamento térmico no exterior, solução mais indicada para eliminação das pontes térmicas;
- os isolamentos térmicos não devem ser interrompidos pela estrutura secundária e a ligação entre a estrutura e o suporte deve ser feita por perfis;
- efeito pára-sol criado pelos revestimentos opacos é importante para reduzir a energia solar transmitida por radiação;
- as soluções de revestimentos transparentes, como o vidro, têm graves problemas de eficiência energética;
- o sistema DSF é uma solução de dois paramentos envidraçados separados por uma caixa-de-ar que tenta suprir os problemas de eficiência energética de um revestimento envidraçado através da ventilação;
- a ventilação nos sistemas DSF deve ser mecânica de forma a permitir variar os fluxos de ventilação para as diferentes partes do dia;
- o vento, em revestimentos com juntas abertas, perturba de forma significativa a ventilação natural pelo efeito chaminé.

5.2. PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO

As fachadas ventiladas são um sistema de revestimento de fachada que está a ganhar o seu espaço no mercado da construção e muitas empresas internacionais começam agora a explorar a variedade de materiais aplicáveis a este sistema. Prevê-se uma maior exploração das formas e texturas dos revestimentos, tirando proveito das diferentes características dos materiais, com vista a obter novas estéticas, contribuindo para uma maior utilização do sistema de fachadas ventiladas por parte dos arquitectos.

No mercado português o sistema ainda é pouco popular, havendo apenas alguns fabricantes especializados nas componentes de fixação ou nos elementos de revestimento, não comercializando o sistema completo. Podem surgir no futuro empresas que desenvolvam o sistema completo à imagem do que já é feito fora do país.

Destacam-se também as novas correntes arquitectónicas que utilizam formas orgânicas e menos tradicionais em edifícios, não havendo em muitos casos a separação entre parede e cobertura, com toda a envolvente do edifício a funcionar como uma casca. A utilização das fachadas ventiladas nestes edifícios é possível, mas dá origem a novos problemas na sua utilização. A falta de resistência à flexão dos elementos de revestimento quando colocados em superfícies inclinadas, ou a resolução dos problemas de estanquidade à água nestas mesmas superfícies, são problemas que terão de ser resolvidos na própria concepção e dimensionamento do sistema. Pretendia-se abordar alguns destes temas no presente trabalho, mas a escassez de tempo para a sua realização não o permitiu.

Em conclusão, o sistema de fachada ventilada é uma solução que se prevê muito popular no futuro próximo, tendo como principais argumentos o bom desempenho térmico e de estanquidade à água aliados a uma grande diversidade de soluções estéticas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://www2.hunterdouglascontract.com/en-PT/facades/index.jsp>. 12/3/10.
- [2] Freitas, Vasco Peixoto., Abrantes, Vítor. *International Symposium on Moisture Problems in Building Walls*. Proceedings, 11 a 13/9/95, Porto.
- [3] http://casas.pai.pt/imofotos/842/fotos/1604000_1_75.JPG. 12/3/10.
- [4] http://4.bp.blogspot.com/_7lbuig-XVTs/SXtjS97HbiI/AAAAAAAAAb8/kMEW-gdYqr0/S220/HPIM2450.JPG. 12/3/10.
- [5] Freitas, Vasco Peixoto. *Seleção exigencial de painéis prefabricados em betão da Prégaia para a aplicação em fachadas*. Relatório HT171/01, Porto, 2002.
- [6] Lucas, José A. Carvalho. *Classificação geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou betão*. LNEC, Lisboa, 1990.
- [7] Freitas, Vasco Peixoto. *Isolamento térmico de fachadas pelo exterior*. 21/10/05. <http://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/ETICS.pdf>. 17/3/10.
- [8] Camposinhos, Rui de Sousa. *Fachadas pressurizáveis*. Congresso Construção 2007 - 3º Congresso Nacional, 17 a 19/12/07, Universidade de Coimbra, Porto: ISEP, Coimbra.
- [9] Veiga, Maria do Rosário. *Acção de formação sobre revestimentos exteriores de paredes*. Construção 2004, Dezembro de 2004, LNEC.
- [10] Herzog, Thomas. *Construire des façades*. DETAIL, Lausanne, Suíça, 2007.
- [11] Camposinhos, Rui de Sousa. *Revestimentos em pedra natural com fixação mecânica*. Edições Sílabo, Lisboa, 2009.
- [12] <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Granito.jpg>. 2/3/10.
- [13] <http://www.javastone.com/world/products/natural/images/thumbnail/basalto.jpg>. 2/3/10.
- [14] <http://rop.ineti.pt/rop/FormProduto.php>. 2/3/10.
- [15] http://www.marmorariacapital.com.br/img/marmore_carrarinha.jpg. 2/3/10.
- [16] <http://e-geo.ineti.pt/bds/ornabase/imagens/57.jpg>. 2/3/10.
- [17] <http://www.granitifiandre.com/exterior-wall-coverings/ventilated-facades/>. 2/3/10.
- [18] <https://woc.uc.pt/darq/getFile.do?tipo=2&id=276>. 24/2/10.
- [19] <http://www.eb23-valongo.rcts.pt/AA/images/soletos1.jpg>. 2/3/10.
- [20] <http://www.ulmapolimero.com/>. 10/3/10.
- [21] Silva, B.; Coutinho, J.; Neves, S.. *Betão leve estrutural usando agregados leves de argila expandida*. Encontro nacional de betão estrutural 2004, Porto, 2004.
- [22] Simões, Ivan.; Branco, Fernando G.; Tiago, Paulo Maranha. *Painéis de fachada em GRC*. Congresso Construção 2007 - 3º Congresso Nacional, 17 a 19/12/07, Universidade de Coimbra, ISEC, Coimbra.
- [23] http://www.century.ie/cent/literature_downloads/Fabrik.pdf. 10/3/10.
- [24] <http://www.secilprebetao.pt/catalogo/index.php?cat=24&sessao=1>. 18/2/10

- [25] Instituto Eduardo Torraja. *Sistema PREINCO para cerramiento de fachadas com paneles prefabricados de GRC*, Preinco, SA. Dit 416.
- [26] <http://www.naturocimento.com/>. 21/4/10.
- [27] <http://www.euronit.es/fachadas-ventiladas.html>. 21/4/10.
- [28] <http://www.cimianto.pt/>. 24/4/10.
- [29] <http://www.zn-revestimentos.pt/>. 27/4/10.
- [30] <http://www.museumliner.ch/index.php?id=36>. 27/4/10.
- [31] <http://www.imarsa.com/>. 27/4/10.
- [32] <http://www.solidlux.com>. 27/4/10.
- [33] <http://www.alucobond.co.nz>. 12/3/10.
- [34] <http://www.hunterdouglascontract.com/home/>. 12/3/10.
- [35] Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica. *Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos*. APICER, Coimbra, 2003.
- [36] <http://www.polyrey.com>. 23/4/10.
- [37] <http://www.parklex.com>. 23/4/10.
- [38] <http://www.banema.pt/>. 30/4/10.
- [39] Mendonça, Paulo. *Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados*. Dissertação de Doutoramento, Universidade do Minho, 2005.
- [40] Alves, Jorge Ricardo dos Santos. *Análise exigencial de revestimentos exteriores de edifícios através de placas de aparas de madeira e cimento*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2009.
- [41] http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2006-1/fixacoes/fixacoes.doc. 30/4/10.
- [42] <http://www.sulfurcell.de/>. 30/4/10.
- [43] <http://www.bateig.com/pub/descargas/catalogos/BATEIG-Catalogo-A4.pdf>. 2/3/10.
- [44] <http://www.halfen.pt/>. 2/3/10.
- [45] Rodrigues, Adelino de Araújo. *Fachadas com revestimentos exteriores descontínuos e independentes*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2003.
- [46] Faria, J. Manuel Marques A. de Araújo. *Divisórias leves prefabricadas*. Dissertação de Doutoramento, FEUP, 1996.
- [47] <http://www.lnec.pt/qpe/marcacao>. 12/5/10.
- [48] CPT 3316, *Ossature bois et isolation thermique des bardages rapportés faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un constant de traditionalité*. CSTB, 2001.
- [49] CPT 3914, *Ossature métallique et isolation thermique des bardages rapportés faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un constant de traditionalité*. CSTB, 2000.
- [50] CPT 2929, *Classement reVETIR des systèmes d'isolation thermique des façades par l'extérieur*. CSTB, 1996.

- [51] EOTA TR 001, *Determination of impact resistance of panels and panel assemblies*. Fevereiro de 2003.
- [52] ETAG 004, *External thermal insulation composite systems with rendering*. Março de 2000.
- [53] Thomas, Robert. *Impact*. Walls & Ceillings, 10/2009, 38 e 39, bnp media, Michigan, EUA.
- [54] Lucas, José A. Carvalho. *Exigências funcionais de revestimentos de parede*. LNEC, Lisboa, 1990.
- [55] Joaquim C. Valente. *Reacção ao fogo dos materiais de construção*. Instituto superior técnico (DEC), 2001.
- [56] Decreto-Lei nº 220/2008, de 12 de Novembro. Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndios em Edifícios, Lisboa, 2008.
- [57] Portaria n.º 1532/2008, de 29 de Dezembro. Aprovação de Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios, Lisboa, 2008.
- [58] Carlos A. Pina dos Santos. *A classificação europeia de reacção ao fogo dos produtos de construção*. LNEC, Lisboa, 2009.
- [59] LNEC. *Reynobond Système Cassettes, revestimento de fachada ventilada*, DH 889, Fevereiro de 2008.
- [60] LNEC. *Larson PE, Larson FR e Larson Metals FR, sistema de revestimento de fachada ventilada*, DH 910, Março de 2010.
- [61] Avis Technique 2/03-1014, *Trespa Meteon fixations sur ossature métallique*. CSTB, 2003.
- [62] Avis Technique 2/05-1146, *Prodema BAK FV/Prodema BAQ+*. CSTB, 2005.
- [63] <http://www.onduline.pt/straciel.htm>. 8/6/10.
- [64] Camarinha, Ricardo M. de Matos. *Apontamentos sobre a acção longitudinal do vento em edifícios altos*. Instituto Superior Técnico, Lisboa, Junho de 2009.
- [65] Camposinhos, Rui de Sousa. *Fachadas-Cortina Pressurizáveis*. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Outubro de 2005.
- [66] Jenkins N. *Air permeability, watertightness and resistance to wind load tests on a Euroclad Façade Division's Linear 1 rainscreen façade system test wall*. Euroclad Façade Division, Garston, Agosto de 2006.
- [67] http://www.civil.ist.utl.pt/~luisg/textos/sismo_EC8.pdf. 17/6/10.
- [68] <http://www.acca.it/euleb/es/glossary/index6.html>. 17/6/10.
- [69] Sinclair, Ray., Phillips, Duncan. *Ventilating Fçades*. Ashrae Journal, Abril de 2009, páginas 16-27, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, Atlanta.

LISTA DE NORMAS

- [N1] NP EN 13830:2009, *Fachadas-cortina – Norma de produto*. IPQ, Março de 2009.
- [N2] NP EN 998-1:2010, *Especificações de argamassas para alvenarias. Parte 1 : Argamassas para rebocos interiores e exteriores*. IPQ, 2010.
- [N3] ISO 2848:1984, *Building construction – Modular coordination – Principles and rules*.
- [N4] ISO 1006:1983, *Building construction – Modular coordination*. ANSI, Novembro de 1983.
- [N5] NP EN 14411, *Pavimentos e revestimentos cerâmicos – Definições, classificação, características e marcação*. IPQ, Janeiro de 2008.
- [N6] NF P 65-202-1:2000, *Revêtements muraux attachés en pierre mince*. CSTB, Outubro de 2000.
- [N7] ISO 7892: 1988, *Vertical building elements - Impact resistance tests - Impact bodies and general test procedures*.
- [N8] NP EN 1991-1-1, *Eurocódigo 1: Acções em estruturas – Parte 1-1:Acções gerais – Pesos volúnicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios*. IPQ, 2002.
- [N9] EN 12179:2000, *Curtain walling – Resistance to wind load – Test method*.
- [N10] EN 13116:2001, *Curtain walling - Resistance to wind load - Performance requirements*.
- [N11] EN 12600:2002, *Glass in building - Pendulum test - Impact test method and classification for flat glass*.
- [N12] EN 14019:2004, *Curtain Walling - Impact resistance - Performance requirements*.
- [N13] EN 13501-2:2007+A1:2009, *Fire classification of construction products and building elements - Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services*.
- [N14] NP EN 20140-3:1998, *Acústica – Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção – Parte 3: Medição em laboratório do isolamento sonoro a sons aéreos de elementos de construção*. IPQ, 1998.
- [N15] NP EN ISO 717-1:2009, *Acústica – Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção – Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea*. IPQ, 2009.
- [N16] EN 13947:2006, *Thermal performance of curtain walling – Calculation of thermal transmittance*.
- [N17] EN 12155:2000, *Curtain walling – Watertightness – Laboratory test under static pressure*.
- [N18] EN 12154:1999, *Curtain walling – Watertightness – Performance requirements and classification*.
- [N19] EN 12153:2000, *Curtain walling – Air permeability - Test method*.
- [N20] EN 12152:2002, *Curtain walling – Air permeability – Performance requirements and classification*.
- [N21] EN 1991-1-4:2005, *Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions*.

