

Soluções construtivas de fachadas em zinco

Filipa Manuela Pereira Guimarães Coelho

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil – Construções

Orientadora: Engenheira Maria da Luz do Vale Garcia

Coorientador: Engenheiro Diogo Rodrigo Ferreira Ribeiro

Agradecimentos

Concluído este trabalho, chega-se ao fim de mais uma etapa das muitas que virão.

Gostaria de agradecer:

À minha orientadora, Engenheira Maria da Luz Garcia, por toda a sua disponibilidade, apoio e ajuda dados ao longo destes meses de trabalho.

Ao meu co-orientador, Engenheiro Diogo Ribeiro, pela ajuda prestada, principalmente na fase final do trabalho.

Ao Engenheiro João Portugal, da empresa Umicore Portugal, pela sua disponibilidade e paciência em esclarecer todas as minhas dúvidas, pelo fornecimento de grande parte da informação necessária para a realização deste trabalho e pela disponibilidade em me receber na empresa várias vezes.

Ao Engenheiro Pedro Silva, da empresa Zinquatro, pelo interesse demonstrado em ajudar e pela informação fornecida.

À Arquiteta Albertina Oliveira e ao Desenhador António Pinto pela cedência de informação e detalhes relacionados com o edifício Rosário.

Ao Sr. Fernando Martins, da empresa construtora J. Martins de Oliveira & Filhos Lda, pela explicação acerca da construção do edifício Rosário.

À Engenheira Teresa Neto pelo tempo disponibilizado e ajuda cedida.

À minha mãe, pai e avó, pelo incentivo, apoio, carinho e motivação que me deram ao longo deste tempo e ao longo de todo o percurso académico.

Resumo

O presente trabalho foi realizado com o intuito de dar a conhecer, de um modo mais pormenorizado, os diferentes tipos de sistemas de revestimento de fachadas em zinco.

Numa primeira fase abordou-se as características do metal zinco, assim como uma breve explicação do seu processo produtivo e a sua aplicação no campo da engenharia civil. O tema da sustentabilidade é também desenvolvido no que respeita à utilização do metal zinco na construção.

Posteriormente serão especificadas certas propriedades do zinco laminado. É este tipo de zinco que será aplicado na envolvente exterior de edifícios.

Numa fase posterior desenvolve-se a caracterização dos diversos tipos de sistemas construtivos de fachadas, com a respetiva descrição dos sistemas. São vários os sistemas disponíveis no mercado, sendo os mais utilizados em Portugal, os sistemas de junta agrafada, sistema de encaixe e sistema Camarinha. São ainda abordados os diversos suportes deste tipo de revestimento, as patologias que podem surgir e também as vantagens e limitações do zinco como material de revestimento.

Por último é apresentado o estudo de um caso concreto, baseado num projeto de um edifício de habitação multifamiliar, e serão desenvolvidos aspetos como o tipo de sistema de fachada aplicado e o seu modo de execução, para além do estudo do desempenho térmico e acústico das fachadas e o seu custo de execução.

Palavras-Chave: Revestimento, Zinco, Fachada, Sistema de encaixe

Abstract

This work was done with the intention, in a more detailed, the different types of façade zinc made it.

On a first phase approached, the characteristics of the metal zinc, as well as a brief explanation of its production process and its application in the field of civil engineering were done. The subject of sustainability is also evaluated with regard to the use of zinc metal construction.

Later on will be specified certain properties of zinc laminate. Is this type of zinc that is applied on the outer coating of buildings.

The characterizations of various types of building systems for facades, with the description of the respective systems were shown. There are several systems available on the market, being the most used in Portugal: The Standing Seam systems, the Interlocking Panels system and the Camarinha system. They are also discussed several supports of this type of coating, the pathologies, and also the advantages and limitations of zinc coating material.

To ended this study, a study case, based on a multifamily building project, aspects of the type of façade system applied and the means of execution were shown. In addition, the thermal and acoustic performance of facades and cost of implementation were shown.

Keywords: Cladding, Zinc, Facade, Interlocking Panels system

Índice de texto

1. Enquadramento.....	1
1.1 Âmbito e objetivos do trabalho.....	1
1.2 Organização e estrutura do trabalho.....	1
2. Zinco.....	5
2.1 Nota histórica.....	5
2.2 Características físicas e mecânicas.....	9
2.3 Processo produtivo.....	12
2.4 Aplicações na construção civil.....	18
2.5 Sustentabilidade.....	22
3. Zinco laminado e sua aplicação como revestimento de fachadas.....	27
3.1 A especificidade da liga de zinco laminado.....	28
3.2 Propriedades do zinco laminado.....	29
3.2.1 Dilatação/retração.....	30
3.2.2 Comportamento face à ação do vento.....	35
3.2.3 Durabilidade.....	40
3.2.4 Corrosão química.....	42
3.2.5 Reação ao fogo.....	43
3.2.6 Características de superfície.....	45
3.3 Aspetos de superfície.....	47
3.4 Manuseamento, armazenagem e transporte.....	50
3.5 Estereotomia.....	52
3.6 Ventilação.....	54
4. Tipos de Fachadas.....	59
4.1 Fachadas não aderentes (fachadas ventiladas).....	62
4.2 Fachadas aderentes.....	65

5.	Tecnologias de aplicação de zinco laminado em fachadas	67
5.1	Tipos de sistema de fachadas	69
5.1.1	Sistema de encaixe	69
5.1.2	“Composite”	74
5.1.2.1	Sistema cravado ou aparafusado.....	75
5.1.2.2	Sistema de cassetes.....	78
5.1.3	Perfil ondulado	81
5.1.4	Sistema de junta agrafada.....	84
5.1.5	Painéis fotovoltaicos integrados	88
5.1.6	Sistema Camarinha.....	88
5.1.7	Sistema “Dexter”	90
5.1.8	Sistema com elementos pré-fabricados.....	95
5.1.8.1	Losangos.....	95
5.1.8.2	Soletos.....	96
5.1.8.3	“Adeka”	97
5.1.9	“Mozaik”	100
5.2	Suportes.....	104
5.2.1	Materiais de suporte	104
5.2.2	Incompatibilidade de materiais	106
5.2.2.1	Madeiras.....	106
5.2.2.2	Rebocos e betões	108
5.2.2.3	Metais	109
5.2.3	Tela pitonada.....	110
5.3	Patologias e suas causas.....	112
5.3.1	Orifícios	113
5.3.2	Fissuras.....	115

5.3.3	Empenamento.....	116
5.3.4	Manchas	117
5.4	Vantagens e limitações da aplicação do zinco laminado em fachadas	121
6.	Estudo de um sistema de fachada de um edifício de habitação.....	125
6.1	Objetivos	125
6.2	Descrição e localização do edifício	125
6.3	Arquitetura.....	127
6.4	Fachadas.....	129
6.5	Análise do desempenho térmico da fachada.....	132
6.5.1	Solução inicial.....	133
6.5.2	Solução executada.....	135
6.6	Análise do desempenho acústico da fachada.....	138
6.6.1	Solução inicial.....	141
6.6.2	Solução executada.....	142
6.7	Análise global comparativa do desempenho térmico e acústico da fachada.....	144
6.8	Instalação da fachada.....	145
6.9	Recomendações para a execução das fachadas em zinco	154
6.10	Estimativa de custos para a fachada	155
7.	Conclusões e desenvolvimentos futuros.....	157
	Bibliografia	161

Índice de figuras

Figura 1 - Moeda de latão [1]	5
Figura 2 – Paracelso [13].....	6
Figura 3 – Igreja “Saint-Barthélemy” [15].....	7
Figura 4 - Zinco na sua forma metálica [18]	9
Figura 5 - Exploração subterrânea da mina de Neves Corvo, Beja [2]	12
Figura 6 - Extração dos minérios de zinco [28].....	13
Figura 7 - Separação das impurezas dos minerais (Flotação) [30, 31]	14
Figura 8 - Ustulação do sulfeto de zinco [16].....	14
Figura 9 - Fundição do zinco	15
Figura 10 - Lingotes de zinco [29, 33].....	16
Figura 11 - Processo de laminagem do zinco [34].....	17
Figura 12 - Bobines de zinco [35]	18
Figura 13 - Telhados de Paris [3]	19
Figura 14 - Exemplos de aplicação do zinco na construção [6].....	20
Figura 15 - Comparação de gastos de energia entre metais não ferrosos [43]	25
Figura 16 - Diferentes formatos de fachada em zinco laminado [44, 45].....	27
Figura 17 – Identificação do sentido longitudinal e transversal numa chapa de zinco laminado.....	31
Figura 18 - Tipo de sistema de fachada 150 F [4].....	36
Figura 19 -Categorias de terreno e respetivos parâmetros [52].....	38
Figura 20 - Coeficiente de exposição [52].....	38
Figura 21 - Valores recomendados dos coeficientes de pressão exterior para paredes verticais de edifícios de planta retangular [52].....	39
Figura 22 - Ábaco que relaciona a pressão do vento com a espessura e o comprimento do painel [4]	40
Figura 23 – Chapas de zinco sem e com formação de pátina	41
Figura 24 - Etapas da formação da pátina [53].....	42
Figura 25 - Aspeto ondulado em fachada	45
Figura 26 - Cicatrizes de laminagem da chapa de zinco	47
Figura 27 - Amostras de diversos aspetos de superfície do zinco [63].....	49
Figura 28 – Cores disponíveis no mercado de zinco bilacado [64]	49

Figura 29 – Precauções no manuseamento do zinco [5].....	50
Figura 30 – Modo de transporte do zinco [5].....	51
Figura 31 - Remoção da película plástica após finalizada a instalação [6].....	51
Figura 32 - Parte de projeto de estereotomia de uma fachada e a solução final.....	53
Figura 33 - Exemplos de estereotomia (projetos realizados pela marca “VMZINC”)	54
Figura 34 - Ações climatéricas [5].....	56
Figura 35 - Ventilação numa fachada de zinco [5]	57
Figura 36 - Tela pitonada	58
Figura 37 - Evolução das fachadas em Portugal [67]	60
Figura 38 - Componentes de uma fachada ventilada [66].....	63
Figura 39 - Esquemática do sentido do fluxo de ar numa fachada ventilada [70].....	64
Figura 40 - Parede com sistema do tipo “etics” [71].....	65
Figura 41 - Parede dupla com isolamento [72].....	66
Figura 42 - Casa revestida a zinco (Localização: Gondomar)	67
Figura 43 - Parede exterior revestida a zinco através do sistema de encaixe [6].....	69
Figura 44 - Exemplo de aplicação do sistema de encaixe [6].....	70
Figura 45 - Quinadeira (comprimento da chapa = 4m) (Fábrica da “VMZINC”)	71
Figura 46 - Sentido de encaixe dos painéis [6]	72
Figura 47 - Pormenor de encaixe entre painéis [6].....	72
Figura 48 - Furo ovalizado em painel.....	73
Figura 49 - Tapa juntas para união transversal para painéis horizontais.....	73
Figura 50 - Painél “Composite” [7]	74
Figura 51 - Parede revestida a painéis “Composite” com sistema de fixação por parafusos ou rebites [7].....	76
Figura 52 - Pormenor de montagem do sistema cravado/aparafusado [6].....	76
Figura 53 - Pormenor construtivo do sistema cravado/aparafusado (corte transversal e horizontal) [6]	77
Figura 54 - Parede revestida a painéis “Composite” com sistema de fixação por cassetes [6]	78
Figura 55 - Exemplo de um sistema de cassetes [6]	79
Figura 56 - Sistema de cassetes no sentido vertical e horizontal, respetivamente [6].....	79
Figura 57 - Pormenor construtivo do sistema de cassetes verticais [6].....	80
Figura 58 - Pormenor construtivo do sistema de cassetes horizontais [6].....	81

Figura 59 - Fachada de um edifício revestido a perfil de zinco ondulado [6]	81
Figura 60 - Esquema construtivo do sistema perfil ondulado [6].....	82
Figura 61 – Exemplo de perfil ondulado da VMZINC 76/18 [6]	82
Figura 62 – Diferentes soluções de sobreposição entre painéis e disposição possível dos parafusos auto-roscantes para os diversos comprimentos de onda [6].....	83
Figura 63 - Imagem representativa do perfil ondulado [73].....	84
Figura 64 - Moradia unifamiliar revestida a zinco com sistema de junta agrafada [7].....	85
Figura 65 - Tipos de fecho para junta agrafada [6].....	85
Figura 66 - Tipos de presilhas [6]	86
Figura 67 - Máquina de perfilagem das chapas de zinco	86
Figura 68 - Exemplo de montagem de junta agrafada [74]	87
Figura 69 - Painél fotovoltaico em perfil de encaixe e em perfil de junta agrafada [6]	88
Figura 70 - Junta Camarinha.....	89
Figura 71 - Presilha de fixação e pormenor de fixação [6].....	90
Figura 72 - Fachada revestida com sistema “Dexter” [6].....	91
Figura 73 – Painéis “Dexter” embalados para comércio	91
Figura 74 - Pormenor de encaixe do sistema Dexter [6].....	92
Figura 75 - Painel “Dexter” [6]	92
Figura 76 - Colocação das presilhas e sua fixação ao suporte e encaixe dos painéis laterais [6].....	94
Figura 77 - Encaixe das peças “Dexter” [6]	94
Figura 78 - Sistema de fixação da “Vmzinc” [6]	95
Figura 79 - Sistema de fixação da “Rheinzinc” [73].....	96
Figura 80 - Sistema de fixação dos soletos [6].....	97
Figura 81 - Edifício revestido com elementos “Adeka” [7].....	97
Figura 82 - Esquema ilustrativo do sistema “Adeka” [6]	98
Figura 83 – Vistas do elemento em zinco [6]	99
Figura 84 - Esquema de instalação [6].....	99
Figura 85 - Fachada de edifício revestido com cassetes do tipo “Mosaik” [6].....	100
Figura 86 - Tipos de juntas [6]	101
Figura 87 – Esquema ilustrativo do sistema Mosaik [6].....	102
Figura 88 - Instalação do sistema Mosaik [6].....	103
Figura 89 – Pormenor de fixação do painel de zinco em contraplacado de madeira	105

Figura 90 - Pormenor de fixação com recurso a perfis metálicos.....	106
Figura 91 - Aplicação de zinco em suporte de madeira [49]	107
Figura 92 - Aplicação de zinco em suporte de betão [6]	108
Figura 93 - Membrana em PEAD [8]	110
Figura 94 - Dimensões dos nódulos [8].....	111
Figura 95 - Sistema de fixação por presilha [8]	112
Figura 96 - Orifícios na chapa de zinco	114
Figura 97 - Orifício provocado pelo ataque químico de ácidos	114
Figura 98 - Fissura na chapa.....	115
Figura 99 - Fissura provocada por quinagem.....	116
Figura 100 - Empenamento da chapa de zinco	117
Figura 101 - Manchas brancas provocadas por chuvas ácidas.....	118
Figura 102 - Possível local de estagnação de água.....	119
Figura 103 - Manchas provocadas pela contaminação da chapa de zinco.....	120
Figura 104 - Manchas provocadas pela contaminação com sal.....	120
Figura 105 - Exemplo de fachada em zinco com revestimento pelo exterior	122
Figura 106 – Edifício multifamiliar totalmente revestido a zinco (Complexo residencial “The Whale” em Amesterdão).....	123
Figura 107 - Vista geral do edifício Rosário.....	125
Figura 108 - Vista aérea do local de implantação Fonte: Google Earth	126
Figura 109 - Planta de arquitetura do piso tipo	128
Figura 110 - Diagrama da Lei da Massa [9].....	139
Figura 111 - Soluções de parede exterior	145
Figura 112 - Estereotomia da parede exterior orientada a Nordeste	146
Figura 113 - Vista geral das fachadas do edifício.....	146
Figura 114 - Pormenor da ossatura e do isolante térmico.....	148
Figura 115 - Instalação dos painéis nas fachadas.....	149
Figura 116 – Pormenor da instalação dos painéis sobre o isolante térmico	149
Figura 117 - Pormenor de instalação do tapa juntas na junta transversal entre painéis .	150
Figura 118 – Exemplo de locais de aplicação da tela pitonada em PEAD	151
Figura 119 - Execução da parte alta e da parte baixa da fachada, respetivamente [6]	152
Figura 120 - Pormenor de remate da soleira da janela (Orientação: Sudoeste).....	152

Figura 121 - Exemplo de fixação da chapa na padieira numa das varandas voltadas a Nordeste..... 153

Figura 122 - Pormenor de remate lateral e da padieira (Orientação: Nordeste)..... 153

Figura 123 - Pormenor de local para posterior encaixe do guarda-corpo de vidro..... 153

Figura 124 - Pormenor de remate lateral (Orientação: Sudoeste) 154

Índice de tabelas

Tabela 1 - Principais minerais do zinco [16, 20, 21, 22, 23, 24].....	10
Tabela 2 - Propriedades gerais [11, 25].....	10
Tabela 3 - Propriedades físicas e mecânicas [25, 26].....	11
Tabela 4 - Dimensões comuns das bobinas.....	18
Tabela 5 - Preços dos metais.....	22
Tabela 6 - Composição química do zinco laminado [46, 47].....	29
Tabela 7 - Propriedades físicas da liga de zinco laminado [49].....	29
Tabela 8 - Durabilidade do zinco consoante o tipo de ambiente [5].....	41
Tabela 9 - Classes de reação ao fogo dos materiais.....	44
Tabela 10 - Tipos de sistemas de fachadas.....	68
Tabela 11 - Dimensões dos painéis de zinco [6].....	74
Tabela 12 – Exemplos de madeiras compatíveis e incompatíveis [76].....	107
Tabela 13 – Exemplos de metais compatíveis e incompatíveis [5].....	109
Tabela 14 - Vantagens e limitações do revestimento em zinco.....	121
Tabela 15 - Frações autónomas do edifício.....	127
Tabela 16 - Solução inicial da parede exterior.....	130
Tabela 17 - Solução executada da parede exterior.....	131
Tabela 18 - Valores da condutibilidade térmica e das resistências térmicas dos constituintes da parede exterior da solução inicial.....	134
Tabela 19 - Valores da condutibilidade térmica e das resistências térmicas dos constituintes da parede exterior da solução final (Tipo 1).....	135
Tabela 20 - Valores da condutibilidade térmica e das resistências térmicas dos constituintes da parede exterior da solução final (tipo 2).....	136
Tabela 21 - Tabela resumo dos valores dos coeficientes de transmissão térmica.....	137
Tabela 22 - Valores do acréscimo para o cálculo do R_w (ΔR_w).....	140
Tabela 23 - Massa superficial do pano com maior massa (m_1).....	141
Tabela 24 - Massa superficial do pano com menor massa (m_2).....	141
Tabela 25 - Massa superficial do pano com maior massa (m_1).....	142
Tabela 26 - Massa superficial do pano com menor massa (m_2).....	142
Tabela 27 - Massa superficial do pano.....	143

Tabela 28 - Tabela resumo dos valores dos índices de redução acústica	144
Tabela 29 - Tabela comparativa das diversas soluções	145
Tabela 30 - Orçamento para a fachada	155

1. Enquadramento

1.1 Âmbito e objetivos do trabalho

A fachada de um edifício funciona como uma camada protetora que reveste todo o seu esqueleto, neste caso a estrutura. Tem como principal função proteger o edifício do ambiente exterior, tendo também uma função a nível estético e funcional. É por isso um elemento que pode e deve ser objeto de estudo, tal como as várias soluções disponíveis no mercado para a sua execução.

O tema da presente dissertação surge na sequência de uma curiosidade e de um interesse em aprofundar conhecimentos acerca de fachadas revestidas em zinco, após ter acompanhado de perto uma obra em que o edifício foi na sua totalidade revestido com este material, pretendendo alcançar um maior conhecimento sobre o tema.

Este trabalho tem como objetivo geral a análise e o estudo dos principais tipos de soluções construtivas de sistemas de fachada em zinco. Um outro objetivo é dar a conhecer as vantagens e as limitações deste tipo de solução em zinco.

Pretende-se que este trabalho venha a contribuir para a divulgação de informação dos diferentes sistemas, uma vez que a falta de informação nesta área da engenharia civil e o difícil acesso à mesma faz com que não exista um conhecimento consolidado neste tema. A informação disponível em Portugal é quase toda ela informação de âmbito comercial.

1.2 Organização e estrutura do trabalho

O presente trabalho encontra-se dividido em seis capítulos.

No Capítulo 1 são indicados o âmbito e os objetivos do trabalho, assim como a organização do mesmo.

No Capítulo 2 são apresentados vários aspetos relacionados com o metal zinco, nomeadamente uma breve nota histórica acerca da sua descoberta, a descrição das suas propriedades físicas e mecânicas e também o seu processo produtivo, desde a extração até à sua etapa final. Serão abordadas ainda as várias aplicações deste metal na construção civil, as vantagens da sua utilização, e discutidos aspetos relacionados com a sustentabilidade.

O Capítulo 3 incide na aplicação do zinco laminado como revestimento de fachadas, onde se apresentam as suas características e comportamentos a diversos fatores, nomeadamente o comportamento face à ação do vento, a sua resistência à corrosão, a reação ao fogo e os fenómenos de dilatação/retração. Referem-se também os vários tipos de aspeto de superfície disponíveis e ainda os cuidados que se deve ter no seu manuseamento, armazenagem e transporte.

No Capítulo 4 são apresentados os tipos de fachadas existentes, incluindo uma breve explicação acerca das vantagens e desvantagens de dois tipos de fachadas, as fachadas ventiladas ou fachadas não ventiladas, com particular incidência na ventilação.

No Capítulo 5 descreve-se os tipos de sistemas de fachada em zinco laminado disponíveis no mercado, evidenciando o seu modo de fixação e as dimensões dos painéis. Serão também descritos os suportes que são ou não compatíveis com o zinco laminado. Para finalizar serão referidas patologias que se podem observar neste tipo de fachadas e quais as vantagens e limitações da utilização deste metal para o efeito.

No Capítulo 6 é apresentado o caso de estudo do edifício Rosário localizado na cidade de Gondomar. Tópicos como o tipo de sistema de fachada e a análise do desempenho térmico e acústico das paredes exteriores foram apresentados. Vai ser apresentado ainda a estimativa de custo para a execução da fachada.

No Capítulo 7 são apresentadas as principais conclusões retiradas deste trabalho, bem como alguns desenvolvimentos futuros.

2. Zinco

2.1 Nota histórica

Muito antes do descobrimento do zinco como metal, já os seus minérios eram utilizados para a produção de latão (liga metálica de cobre e zinco). Existem peças de latão provenientes da Babilónia e Assíria datadas do século III a.C. e na Palestina na época de 1400 até 1000 a.C. [10]. Foram também encontrados objetos de latão na antiga região da Transilvânia com uma percentagem de até 87% de zinco. As ligas metálicas de zinco foram utilizadas durante centenas e centenas de anos.

Apesar de o zinco ser um material utilizado para a fabricação de latão, a sua natureza não era reconhecida. Este irreconhecimento era causado pelo fato de que ele tendia a evaporar-se, devido ao seu baixo ponto de fusão e reatividade química. Muitos séculos se passaram até que o zinco fosse identificado como metal.

Desde os anos 30 a.C. que o fabrico do latão era conhecido pelo povo romano, sendo o seu método de obtenção descrito por Caio Plínio e Pedânio Dioscórides. A sua obtenção era realizada pelo aquecimento, de uma mistura de cadmia, também designada de calamina (minério de zinco), com cobre [11]. Uma das utilizações rotineiras desta liga era a cunhagem de moedas, surgindo a partir de 20 a.C. (Figura 1).



Figura 1 - Moeda de latão [1]

Foi na Índia, por volta do ano 1200 d.C., que foi obtido pela primeira vez o zinco metálico. O zinco foi então reconhecido pelo povo hindu anos mais tarde, no ano de 1374, tornando-o assim, no oitavo metal reconhecido pelo Homem no século XII naquela época na Ásia [12].

Cerca de dois séculos depois, no ano de 1546, o alemão Georgios Agricola (1494-1555) considerado pai da geologia como ciência e também licenciado em medicina, observou a formação de um metal branco prateado condensado nas paredes dos fornos onde se realizava a fundição dos minerais de zinco. Esta observação levou-o a assinalar em seus documentos que um metal similar a este era já produzido na Silésia, denominado de “zincum” [11].

Nesse mesmo século, no século XVI, o zinco foi finalmente reconhecido na Europa como um novo metal, com características distintas de outros metais já conhecidos.

Foi o Suíço, Paracelso (1493-1541) que sugeriu pela primeira vez o nome “zincum” para o novo metal encontrado, não indicando, no entanto qual a sua origem [11] (Figura 2).



Figura 2 – Paracelso [13]

No ano de 1743, em Bristol, no Reino Unido, foi construído o primeiro estabelecimento a nível Europeu para fundição do zinco em escala industrial [11].

Três anos depois, em 1746, o químico alemão Andreas Sigismund Marggraf (1709-1782), conseguiu isolar o zinco, através do aquecimento de vários minérios de zinco com carvão vegetal [12].

Anos mais tarde, no início do século XIX, mais propriamente no ano de 1805, o químico de origem belga Jean-Jacques Dony construiu a primeira fábrica belga de produção de zinco metálico a nível Europeu, dando-lhe o nome de “Vieille Montagne”. Ele conseguiu desenvolver um procedimento industrial para a extração e produção de zinco metálico, depois de lhe terem sido cedidas as Minas de “Moresnet”. Seis anos depois, Dony realizou a primeira cobertura em zinco do país, sendo esta a cobertura da Igreja “Saint-Barthélemy”(Figura 3) [14].



Figura 3 – Igreja “Saint-Barthélemy” [15]

Anos mais tarde, devido a problemas financeiros, “Vieille Montagne”, viu-se obrigada a fechar portas.

Foi em 1837, que Francois-Dominique Mosselman criou a empresa “Société des Mines et Fondaries de Zinc de la Vieille Montagne”, fazendo com que a fabricação de zinco renascesse. Esta tornou-se a maior empresa produtora de zinco da Bélgica [14].

Depois de fundada a primeira empresa especializada na produção de zinco na Europa, o futuro era a expansão da fabricação de zinco para outros países Europeus. Em 9 de Junho de 1853 foi fundada, por belgas, a “Compagnie Royale Asturienne des Mines”. Esta empresa visava a introduzir o zinco em território Espanhol, expandindo-se mais tarde por vários países. A primeira dependência desta companhia instalada em Portugal foi no ano 1920, sendo a primeira fábrica introduzida no ano de 1948.

Em 1987 as duas empresas, as maiores produtoras de zinco, a “Société des Mines et Fondaries de Zinc de la Vieille Montagne” e a “Compagnie Royale Asturienne des Mines” uniram-se dando origem a uma única empresa designada por “Vieille Montagne France”.

Na atualidade esta empresa ainda existe, tendo apenas mudado de nome várias vezes, e continua a ser uma das maiores produtoras de zinco metálico mundial. A empresa “Vieille Montagne France” deu origem ao grupo “Umicore”, que criou a marca de zinco metálico designada VMZINC.

São várias as empresas produtoras deste tipo de metal, para além da “Umicore”, tais como a empresa alemã “Rheinzink” fundada em 1966 e a empresa brasileira “Votorantim Metais”, criada em 1996.

Na atualidade são várias as empresas em Portugal que comercializam o zinco metálico, mas não existe nenhuma que o fabrique. As empresas recebem o zinco em bobines e procedem ao seu corte, quinagem e moldagem. Muitas fábricas optaram por realizar

apenas a distribuição e não o seu acompanhamento em obra, deixando isso a cargo de outras empresas com essas competências.

2.2 Características físicas e mecânicas

O zinco é um elemento químico do grupo dos metais, classificado como sendo um metal não ferroso, no entanto um dos metais mais consumidos em todo o mundo [16]. Este encontra-se na terceira posição, seguido do alumínio e do cobre. Os metais não ferrosos são caracterizados pela ausência ou pequena quantidade de ferro na sua composição, e apresentam como características, uma grande resistência à corrosão, pequena resistência mecânica, assim como muito pequena resistência a temperaturas elevadas [17].

O metal zinco apresenta uma coloração branco-azulada (Figura 4) e pode ser encontrado sob a forma de sulfetos ou carbonatos de zinco, e em diversos minerais.

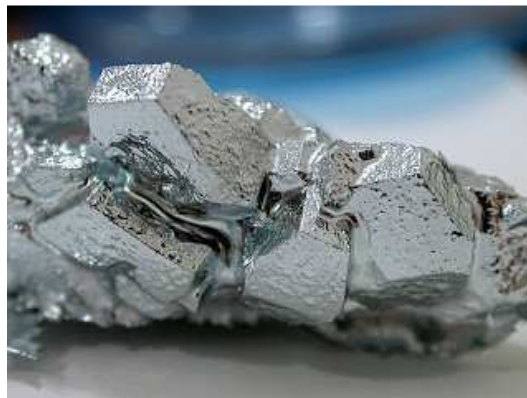


Figura 4 - Zinco na sua forma metálica [18]

O zinco é o 24º elemento mais abundante na crosta terrestre [16]. As jazidas mais ricas contêm cerca de 10% de ferro e entre 40% e 50% de zinco. Os minerais dos quais se extraem o zinco são do grupo dos sulfetos, silicatos, carbonatos e óxidos [19, 20, 21, 22, 23, 24] (Tabela 1).

Tabela 1 - Principais minerais do zinco [16, 20, 21, 22, 23, 24]

Mineral	Grupo	Composição	Percentagem de zinco
Esfarelita	Sulfetos	$(Zn,Fe)S$	67 %
Willemita	Silicatos	$Zn_2(SiO_4)$	58,5%
Smithsonita	Carbonatos	$ZnCO_3$	52%
Hemimorfita	Silicatos	$Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$	54,2%
Hidrozincolita	Carbonatos	$Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$	56%
Zincita	Óxidos	ZnO	80,3%
Franklinita	Óxidos	$(Zn,Fe,Mn)_2O_4$	15% a 20%

As principais características do zinco são a sua excelente resistência à corrosão em diversos ambientes atmosféricos e a sua facilidade de oxidação. Além destas propriedades, o zinco também prima por ser um material bastante maleável (quando sujeito a temperaturas superiores a 100°C), dúctil e ainda apresenta uma boa tenacidade. Nas tabelas seguintes são apresentadas as propriedades gerais, físicas e mecânicas do metal zinco.

Tabela 2 - Propriedades gerais [11, 25]

Elemento químico: Zinco	
Símbolo químico	Zn
Número atômico	30
Massa atômica	65,38u
Série química	Metal de transição
Estrutura cristalina	Hexagonal compacta

Tabela 3 - Propriedades físicas e mecânicas [25, 26]

Peso Específico	7140 kg/m ³
Dureza	2,5
Ponto de Fusão	419,5 °C (692,7 K)
Ponto de Ebulição	907 °C (1180 K)
Condutibilidade Térmica	113 W/m.K
Resistividade Elétrica	58,9 Ω.m
Coefficiente de Poisson	0,25
Módulo de Elasticidade	108 GPa
Coefficiente de dilatação térmica linear	25 x 10 ⁻⁶ °C ⁻¹
Resistência mecânica à tração	159,95 Mpa

Em função da sua origem, o zinco pode ser classificado em duas grandes famílias: o zinco primário e o zinco secundário.

O zinco primário representa cerca de 80% a 85% da produção atual e tem como principal processo de produção o processo eletrolítico [16]. O zinco secundário é proveniente de sucatas e resíduos, ou seja, é um zinco reciclado e representa os restantes 15 a 20% da produção atual. No entanto, nem todos os produtos de zinco podem ser conduzidos para sucata. A principal fonte de reciclagem do zinco provém de metais como o latão e o bronze, do aço galvanizado, de peças fundidas. Pode também ser proveniente do seu próprio processo industrial [27]. O processo de laminagem do zinco produz ele próprio sucata, que é imediatamente reaproveitada para nova fundição e laminação. No caso de se tratar de sucata produzida em obra, esta é recolhida e enviada para nova fundição, sendo aproveitado para realizar outro tipo de peças em zinco. Uma vez que a sucata de zinco pode ser reciclada a 100 %, esta mantém o mesmo grau de pureza.

2.3 Processo produtivo

A produção do zinco metálico é composta por uma série de etapas e tem à sua disposição diversos processos de obtenção. O processo mais utilizado para a obtenção do zinco é o processo eletrolítico. As principais fases deste processo são: a flotação, ustulação, lixiviação, eletrólise e caso se trate de zinco laminado, a laminagem.

Em Portugal existem várias minas das quais se podem extrair o minério de zinco, sendo as principais a Mina de Neves Corvo e as Minas de Aljustrel, no distrito de Beja.

A produção do zinco primário começa com a extração do mineral, que tanto pode ser realizado a céu aberto, como em jazidas subterrâneas [16] (ver Figura 5).



Figura 5 - Exploração subterrânea da mina de Neves Corvo, Beja [2]

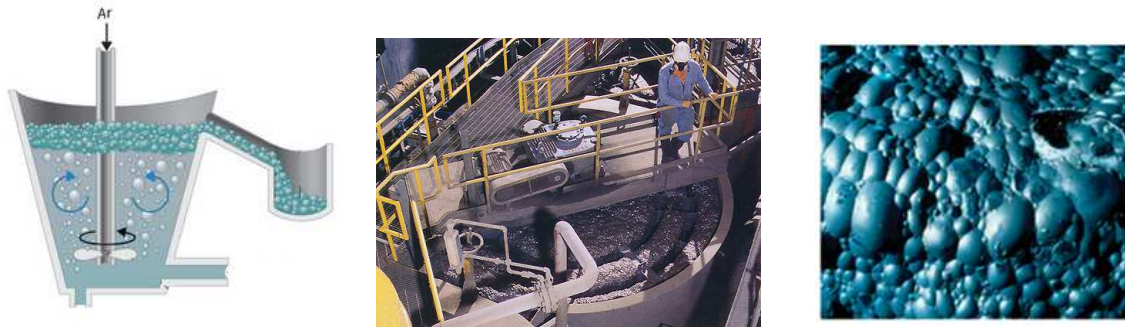
Após a extração, segue-se o transporte para fábrica e britagem dos minerais extraídos, de modo a obter-se partículas muito finas que posteriormente serão submetidas a tratamentos químicos. A Figura 6 ilustra o modo de extração dos minérios de zinco.



Figura 6 - Extração dos minérios de zinco [28]

Durante esta operação extrai-se o máximo de elementos estranhos ou impurezas. Após a operação de britagem, o minério é separado por tamanho de partículas, e o minério com partículas ainda muito grandes, retorna a britagem.

Depois de triturados e com a granulometria pretendida, as partículas do minério são submetidos a um processo designado de flotação. Este é o principal método de purificação do zinco, que consiste na separação das impurezas dos minerais, ou seja, na concentração dos minerais de zinco. Na flotação são adicionados ao minério ar e produtos químicos, que dão origem a partículas minerais recobertas com certos produtos químicos em suspensão. Estas por sua vez aglutinam-se com as bolhas de ar, provenientes da parte de baixo da célula de flotação, para que subam rapidamente à superfície (Figura 7 a) e b)), formando deste modo um depósito espumoso em suspensão (Figura 7 c)), o qual é recuperado e enviado para filtros. [29]. Seguidamente procede-se à separação do sólido do líquido da solução flotada. Nesta operação separa-se o concentrado de silicatado de zinco (sólido) seguido de uma moagem e tratamento com magnésio, para obter a maior a recuperação de zinco presente nos minérios [29].



a) Mecanismo de flotação b) Equipamento de flotação c) Espuma em suspensão

Figura 7 - Separação das impurezas dos minerais (Flotação) [30, 31]

A próxima etapa deste processo é a ustulação. Esta fase é dispensada caso se trate de concentrado oxidado, uma vez que a ustulação consiste em transformar o concentrado de sulfeto de zinco em concentrado de óxido de zinco [27]. Na Figura 8 está representado um esquema no qual se pode visualizar o processo de ustulação.

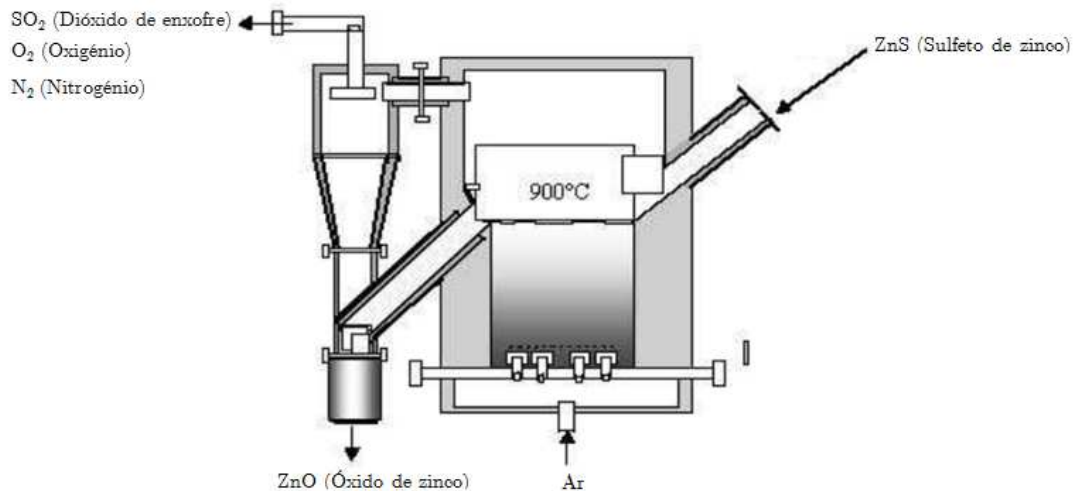


Figura 8 - Ustulação do sulfeto de zinco [16]

A próxima fase do processo de produção é a lixiviação do óxido de zinco. Por definição, lixiviação é o processo de extração de uma substância presente em componentes sólidos através da sua dissolução num líquido [32]. Seguindo o raciocínio, o óxido de zinco resultante do processo de ustulação é colocado em ácido sulfúrico tendo como finalidade a obtenção de sulfato de zinco. Após este procedimento, segue-se a purificação da solução de

sulfato de zinco. Esta etapa visa a remoção de metais nobres, tais como o cobre, cádmio, cobalto e níquel. A eliminação destes elementos é realizada através da adição de pó de zinco, ou seja, zinco metálico em pó [29].

Depois de purificada, a solução é enviada para depósitos (tanques de cimento revestidos a PVC), onde vai ser realizada a eletrólise da solução.

A recuperação do zinco pelo processo de eletrólise é realizada pela introdução de uma corrente elétrica contínua através de eletrodos insolúveis (ânodos de chumbo-prata e cátodos de alumínio) provocando desta forma a decomposição da solução de sulfato de zinco e a deposição do zinco metálico no cátodo [16, 29].

Obtêm-se deste modo um cátodo de zinco com 99,99% de pureza [29, 27]. Posteriormente, o zinco depositado no cátodo de alumínio é removido e procede-se à última etapa do processo de obtenção do zinco metálico, a fundição (Figura 9).



Figura 9 - Fundição do zinco

Esta fundição é realizada com a introdução do cátodo de zinco no forno de indução de alta capacidade, à temperatura de 500°C, onde se vão formar lingotes de zinco, para posterior comercialização (ver Figura 10) [29, 27].



Figura 10 - Lingotes de zinco [29, 33]

Após todos os processos de fabrico referidos anteriormente existe ainda um último processo, o da conformação, vulgarmente designada laminagem. O processo de laminagem consiste em transformar o lingote de zinco numa lâmina maleável e de reduzida espessura. O metal zinco, juntamente com outros metais (titânio, alumínio, cobre, entre outros) que lhe vão conferir determinadas características, são fundidos em fornos apropriados, sendo transformado numa pasta que posteriormente será moldada e arrefecida [34]. Seguidamente a pasta arrefecida passa por um conjunto de cilindros, designados por laminadores, que vão rolando e conseqüentemente reduzindo a espessura até ser atingida a espessura pretendida. Por fim procede-se ao seu enrolamento em bobines. Na Figura 11 estão ilustrados os diversos processos para a obtenção do zinco laminado, desde a fusão até ao seu enrolamento em bobines.



Figura 11 - Processo de laminagem do zinco [34]

Esta fase de laminagem deve ser acompanhada de um rigoroso controlo de qualidade de forma a garantir o cumprimento da norma relativa ao zinco laminado, a EN 988 [34].

Em Portugal, o processo de laminagem foi realizado até ao ano de 1991, mas atualmente grande parte do zinco laminado é importado da França e da Alemanha e depois é distribuído.

Após todo este processo as bobinas de zinco estão prontas para serem comercializadas e transportadas para qualquer parte do mundo (ver Figura 12).



Figura 12 - Bobines de zinco [35]

Estas bobines podem ter várias espessuras, larguras e comprimentos (ver Tabela 4), e podem chegar até a um peso de 1 tonelada.

Tabela 4 - Dimensões comuns das bobinas

Espessuras	0,65mm; 0,70mm; 0,80mm; 1,00mm; 1,50mm
Larguras	50cm; 65cm, 80cm, 100cm
Comprimentos	Entre 200 a 230 m

2.4 Aplicações na construção civil

Atualmente o zinco laminado possui uma vasta gama de aplicações possíveis e nas mais diversas áreas e atividades. A utilização do metal zinco como material de construção já perdura a alguns séculos, começando com a edificação de Paris Moderna (Séc. XIX). Note-se, a nível de curiosidade, que os telhados dos edifícios de Paris encontram-se revestidos com mais de 20 mil toneladas de zinco (ver Figura 13) [36].



Figura 13 - Telhados de Paris [3]

O zinco laminado possui cada vez mais uma maior aplicabilidade na construção civil, sobretudo pelo fato de ser um material que possui uma elevada resistência à corrosão.

No que respeita à construção de edifícios, são várias as possíveis aplicações deste material, passando por soluções de coberturas (Figura 14 a)) e fachadas (Figura 14 b)), impermeabilização, acessórios de distribuição de águas, nomeadamente caleiras e tubos de queda (Figura 14 c)), telhas metálicas e ainda como objetos de decoração (Figura 14 d)).



Figura 14 - Exemplos de aplicação do zinco na construção [6]

Destaca-se, no entanto que o principal uso do zinco é no processo de galvanização de metais (zincagem) como sucede com o aço e o alumínio. Este processo envolve o revestimento do metal de base com outro metal, neste caso o zinco, com o intuito de protegê-lo contra a corrosão, tornando-o assim num metal com uma maior durabilidade mesmo em ambientes de grande agressividade. Segundo o Instituto de Metais Não Ferrosos, a aplicação do zinco é o método mais eficiente em termos de custo e ambiente para a galvanização do aço [37].

Como referido anteriormente, o zinco é um metal não ferroso e conseqüentemente possui uma baixa resistência mecânica, o que faz com que geralmente não seja utilizado para fins estruturais.

A aplicação deste material na construção civil apresenta uma série de vantagens, nomeadamente:

- É um material leve. O zinco tem um peso específico de 7140 kg/m^3 ;
- Elevada resistência à corrosão, devido à formação da pátina auto protetora. Este material com o tempo vai oxidando, dando origem a uma pátina que vai proteger o zinco;
- É um material completamente reciclável sem qualquer perda das propriedades físicas e químicas;
- Material de grande durabilidade. Dependendo das condições ambientais em que se encontra, o zinco pode durar até 100 anos;
- Material de envelhecimento natural. Este envelhecimento natural é provocado pela formação da pátina;
- Impermeável à água;
- Material incombustível;
- Requer manutenção muito reduzida;
- Atualmente muito aplicado em reabilitação de edifícios;
- Esteticamente apreciado pelos arquitetos em construção nova e reabilitação;
- Metal com custo mais baixo quando comparado com o cobre, por exemplo.

Apesar de o custo de zinco ainda ser relativamente elevado quando comparado com outros materiais este apresenta vantagens irrefutáveis. Como exemplo refira-se o caso de uma fachada, que revestida a zinco custa aproximadamente 50€/m^2 , enquanto a mesma fachada, revestida a tinta irá custar aproximadamente 2€/m^2 (de acordo com os valores atuais do mercado da tinta).

Ainda assim quando comparado com outros metais, o cobre por exemplo, o zinco possui um preço mais reduzido. Já o alumínio possui um preço mais reduzido comparado com o zinco. Importa referir que o preço do zinco, tal como qualquer metal, não é sempre o mesmo, apresentando uma variação diária. Na Tabela 5 pode-se observar os valores de diversos metais, como o cobre, o níquel, o chumbo, o estanho e o zinco pesquisados entre 25 e 27 de setembro de 2013 [38].

Tabela 5 - Preços dos metais

Metal	Unidade	Valor de mercado (€) 25 de setembro 2013	Valor de mercado (€) 26 de setembro 2013	Valor de mercado (€) 27 de setembro 2013
Cobre	€/Tonelada	5296.0769	5348.9147	5358.3302
Níquel	€/Tonelada	10159.1413	10208.1635	10258.5888
Chumbo	€/Tonelada	1511.8430	1526.7797	1538.9730
Estanho	€/Tonelada	17024.4263	17260.5378	17325.4525
Zinco	€/Tonelada	1363.0643	1378.2502	1388.9915

2.5 Sustentabilidade

Atualmente, o termo “sustentabilidade” é um dos mais abordados quando nos referimos à engenharia civil, mais concretamente à construção de edifícios, isto porque o sector da construção é o que mais contribui para o impacto ambiental, a nível de consumo de energia, produção de resíduos, emissões de CO₂ e outros poluentes responsáveis pelas chuvas ácidas que danificam o meio ambiente e o efeito de estufa e consumo de recursos naturais.

Com o objetivo de tornar a indústria da construção menos prejudicial para o meio ambiente começaram a ser adotadas práticas de sustentabilidade, criando deste modo uma construção sustentável. Na construção sustentável devem ser utilizados, sempre que

possível, materiais sustentáveis, e devem ser analisados todos os possíveis impactos ambientais que poderão causar, desde a sua extração, fabrico, aplicação até à fase de exploração [39].

O zinco é um dos materiais de construção que mais significativamente contribui para o desenvolvimento sustentável. Este metal possui uma série de características que o tornam um material sustentável, ideal para a utilização na construção, nomeadamente [40]:

- i. Não tóxico;
- ii. Durável;
- iii. 100% reciclável;
- iv. Baixa energia incorporada na produção.

O zinco é um elemento natural que se encontra espalhado por toda a crosta terrestre, encontrando-se presente nas rochas, solos, ar, água e na biosfera. Este material não é portador de qualquer toxicidade que possa pôr em risco o ser humano e o meio ambiente.

Uma outra característica deste metal que contribui para a sustentabilidade, e talvez a mais importante, é a sua elevada durabilidade, pois quanto maior for a sua durabilidade, maior será o seu tempo de vida útil e conseqüentemente menor será o seu impacto no meio ambiente [41]. A sua capacidade de se auto proteger, juntamente com as suas propriedades anticorrosivas, é um dos fatores que lhe confere um maior tempo de vida útil.

Este feito duradouro pode-se repercutir nos consumos de energia. Vejamos um exemplo prático. No caso do aço galvanizado, devido à aplicação do zinco no aço este adquire maior durabilidade e manutenção muito reduzida, desta forma o zinco economiza grandes quantidades de energia, caso contrário, seria necessário energia para substituir frequentemente essas estruturas de aço. O aço galvanizado contribui para a economia dos

recursos energéticos numa escala global, contribuindo desta forma para a diminuição do aquecimento global [37].

Como já foi referido anteriormente o zinco é um metal reciclável. Este pode ser reciclado inúmeras vezes em todas as suas etapas de produção e utilização, sem qualquer perda das suas propriedades físicas e químicas, conseguindo manter as qualidades do metal, gerando novas matérias. O fato deste metal poder ser reciclado, faz com que haja uma poupança significativa dos recursos naturais, sendo desnecessário recorrer à matéria-prima.

A grande vantagem de se proceder à reciclagem de metais, é evitar as despesas na fase de redução do minério a metal, pois esta é uma fase que envolve um elevado consumo de energia e além disso requer o transporte de grandes volumes de minério para instalações.

As principais vantagens da reciclagem do zinco, além das vantagens financeiras, são [42]:

- a) Contribuição para o aumento da consciência ecológica por parte da comunidade;
- b) Reduzir a agressão no meio ambiente;
- c) Poupança de matérias-primas e de energia;
- d) Redução das áreas degradadas pela extração de minérios de zinco;
- e) Redução significativa da poluição;

No que respeita à fase de produção do zinco metálico, a quantidade de energia necessária para a sua produção a partir da matéria-prima é baixa em relação a outros metais não ferrosos utilizados na construção civil, como por exemplo o alumínio e o cobre. As emissões de CO₂ e de gases de efeito estufa são também reduzidas, sendo um benefício para o meio ambiente. É importante referir que quando se trata do fabrico de zinco a partir de zinco reciclado esse consumo de energia é ainda menor. As diferenças do consumo de energia

entre diferentes metais não ferrosos podem ser observadas na Figura 15, em que se pode observar a clara vantagem do zinco em relação aos primeiros metais mais consumidos mundialmente em termos de consumos energéticos [43].

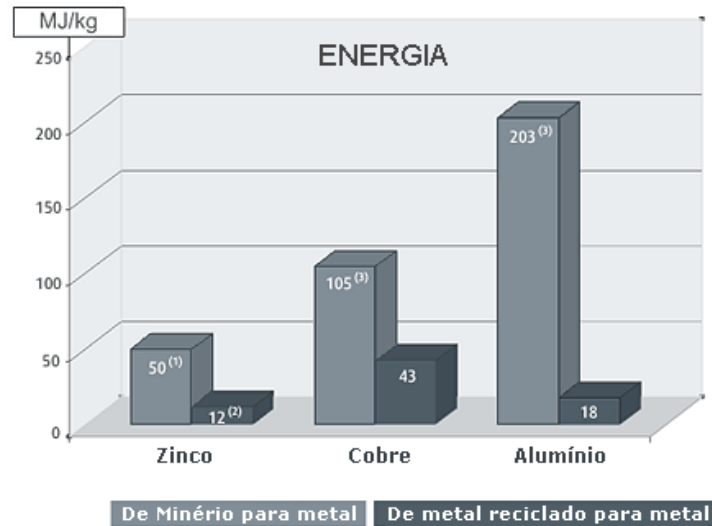


Figura 15 - Comparação de gastos de energia entre metais não ferrosos [43]

São estas características que o tornam num material desejável para uma vasta gama de aplicações possíveis.

Em suma, como este metal possui elevada durabilidade e pode ser reciclado infinitas vezes, ele pode contribuir para salvar os recursos naturais e melhorar o desempenho da sustentabilidade.

3. Zinco laminado e sua aplicação como revestimento de fachadas

A aplicação do zinco laminado como revestimento exterior já provém, como referido na secção 2.4, desde o século XIX. Inicialmente surgiram os sistemas de cobertura, seguindo-se os sistemas de fachadas. Atualmente são cada vez mais os arquitetos que optam por projetar fachadas revestidas a zinco, devido às suas numerosas vantagens quando comparados a outros tipos de revestimentos, nomeadamente os mais tradicionais (pintura e cerâmica), mas como tudo, este metal também tem as suas limitações.

O zinco laminado é um material bastante maleável, o que faz com que este possa adquirir os formatos mais complexos, dificilmente alcançáveis com outros tipos de metais, podendo inclusive possuir um raio de curvatura. Na Figura 16 apresentam-se exemplos de construções reais, nas quais podemos ver as formas que o zinco pode adquirir para a construção.



a) Unicore Office Building, Bélgica



b) Legnicka Bussiness House, Polónia

Figura 16 - Diferentes formatos de fachada em zinco laminado [44, 45]

Além desta característica existem outros motivos que o transformam num material “apetecível” por parte de quem o projeta, nomeadamente, a sua durabilidade, adaptabilidade ao meio e impermeabilidade à água. Um outro especto considerado

importante, embora com grau de importância seja mais reduzido, é o facto de o material ser esteticamente agradável, o que de certo modo contribui para o conceito de sustentabilidade. Uma vez que é agradável aos olhos de quem o habita, a probabilidade de o revestimento ser substituído antes do tempo necessário é reduzido, contribuindo desta forma para a construção sustentável.

Atualmente existem no mercado várias soluções de aplicação para este material, sendo esta uma indústria em constante evolução.

Ao longo deste capítulo, vão ser desenvolvidos com detalhe os aspetos mais relevantes relacionados da aplicação deste material em fachadas de edifícios.

3.1 A especificidade da liga de zinco laminado

Hoje em dia, através de processos metalúrgicos mais aperfeiçoados obtém-se zinco isento de impurezas, adequado para a sua utilização na construção civil [46]. As novas ligas são feitas de zinco puro e elementos adicionais em quantidades rigorosamente doseadas. De acordo com a norma europeia EN 988 [47], o zinco laminado deve garantir uma pureza de 99,995%, antes de lhe serem adicionados quaisquer aditivos [48].

Conforme o descrito e especificado na EN 988, a composição do zinco laminado deverá cumprir os valores mínimos e máximo indicado na Tabela 6.

Tabela 6 - Composição química do zinco laminado [46, 47]

Composição Química	Mínimo	Máximo
Titânio	0,06 %	0,2 %
Cobre	0,08 %	1 %
Alumínio	-	0,015%
Zinco Puro	99,995%	

A junção destes aditivos confere ao zinco uma melhoria nas suas propriedades mecânicas. A adição do titânio torna a liga de zinco mais resistente à deformação e à fadiga, ajudando a controlar o efeito de dilatação e retração do material, enquanto o cobre torna a liga mais dura e aumenta a sua resistência mecânica [46, 49]. Na Tabela 7 refere-se algumas propriedades físicas da liga de zinco laminado.

Tabela 7 - Propriedades físicas da liga de zinco laminado [49]

Propriedades Físicas	
Massa Volúmica	7200 kg/m ³
Coefficiente de Dilatação (sentido longitudinal)	0,022 mm/m/ °C
Ponto de Fusão	420 °C
Temperatura de Recristalização	300 °C

3.2 Propriedades do zinco laminado

No segundo capítulo foram referidas, de um modo generalizado, algumas características do metal zinco. Nesta secção vamos especificar, com maior pormenor, as propriedades físicas e químicas do zinco laminado, que são de extrema importância, pois elas influenciam o seu comportamento, fator importante quando se trata de aplicar este material em fachadas.

As principais propriedades a serem analisadas no zinco laminado são as seguintes:

- Dilatação/retração;
- Comportamento face à ação do vento;
- Durabilidade;
- Corrosão química;
- Reação ao fogo;
- Características de superfície.

3.2.1 Dilatação/retração

Tal como qualquer metal, o zinco está sujeito a fenómenos de retração e dilatação. Os metais, por serem bons condutores térmicos, quando aplicados em fachadas são automaticamente expostos às variações de temperatura, assumindo desde logo significativas variações nas suas dimensões [34].

Em termos físicos, a dilatação é o efeito provocado pelo aumento da temperatura em que um corpo aumenta o seu volume, enquanto a retração é o fenómeno inverso, provocado pela redução da temperatura. Estes fenómenos irão causar o alongamento ou a retração das chapas de zinco em todas as direções, ou seja, nas duas direções, longitudinal e transversal.

A gestão da dilatação e da retração das chapas de zinco são um fator de extrema importância no que respeita à sua aplicação em sistema da fachada. A má gestão destes fenómenos poderão causar anomalias como veremos mais adiante na secção 5.4. Deve-se por isso, desde o início, dar especial atenção à fixação dos elementos na fachada e às suas dimensões.

Assim os fenómenos de retração/dilatação são um fator de grande influência na fase de dimensionamento das peças de zinco para colocação em fachada. Existem certas variáveis que vão entrar no cálculo destes fenómenos, nomeadamente o coeficiente de dilatação térmica do material, o comprimento inicial da chapa e a variação da temperatura dos perfis.

O coeficiente de dilatação térmica dos perfis de zinco é consideravelmente elevado, quando comparado com outros metais utilizados com o mesmo propósito, como o cobre e o alumínio. O efeito do calor provoca um alongamento da chapa de zinco de aproximadamente $0,022\text{mm/m}/^{\circ}\text{C}$ no sentido longitudinal da lâmina e de $0,016\text{mm/m}/^{\circ}\text{C}$ no sentido transversal. O sentido da laminagem pode ser claramente observado na chapa de zinco e é no sentido da mesma que se observa uma maior dilatação (Figura 17).

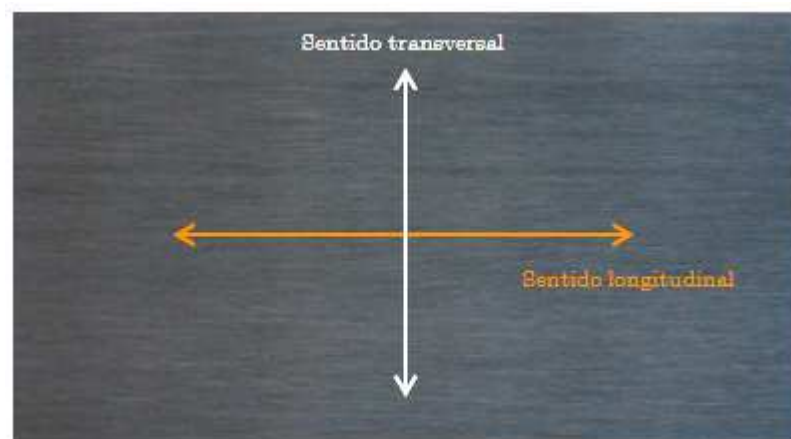


Figura 17 – Identificação do sentido longitudinal e transversal numa chapa de zinco laminado

Uma vez que o zinco assume estes diferentes comportamentos, variando o seu coeficiente de dilatação de acordo com o sentido da laminagem, podemos afirmar que ele é um material ortotrópico. Por definição um material ortotrópico é um tipo de material que possui propriedades independentes relativamente aos seus três planos ortogonais [50]. Os metais laminados são, regra geral, materiais deste tipo.

Um outro fator que contribui para o dimensionamento é o país/local de implantação do edifício, pois vai refletir na variação de temperatura que a chapa de zinco vai estar sujeita. Importa referir que o efeito de dilatação/retração não vai ser o mesmo, por exemplo em Portugal ou na Noruega. Isto deve-se ao tipo de clima que cada país. Sendo Portugal um país de clima temperado e a Noruega de clima frio, estes vão ter amplitudes térmicas diferentes. Essas diferenças de amplitudes térmicas ambientais vão provocar consequentemente um diferencial de temperatura nas chapas. As chapas instaladas na fachada vão estar sujeitas a trocas de calor quer por radiação, quer por convecção. São estes dois fenómenos que vão influenciar também o aquecimento do zinco.

A fórmula utilizada para se proceder ao cálculo da variação de comprimento da peça quando sujeita a uma variação de temperatura é:

$$\Delta L = \alpha \times L_0 \times \Delta T \tag{1}$$

Onde:

α - Coeficiente de dilatação térmica do material;

L_0 - Comprimento inicial da chapa;

ΔT - Variação da temperatura das chapas.

Esta fórmula leva-nos a constatar que quanto maior for a dimensão da peça, maior vai ser a sua variação de comprimento, ou seja, mais ela retrai e dilata. Uma vez que se trata de um material específico, o zinco, os fatores a ter em consideração para o cálculo destes fenómenos são o comprimento da peça e o local de implantação do edifício.

Regra geral, e com o valor de referência para Portugal, devemos considerar que por cada metro de chapa de zinco, estique e encolha ao longo de um dia aproximadamente 1 mm.

Considera-se por isso que a chapa dilata e retrai 1 mm por cada metro e por cada grau de

amplitude térmica de chapa de zinco. Esta é uma regra simplificada, que é assumida pelos técnicos, de modo a evitar que efetuem sempre este tipo de cálculo.

Exemplo prático:

Considere-se um edifício localizado no Porto, revestido com painéis em zinco com comprimento total de 6 m. Pretende-se determinar os valores da dilatação e da retração que o painel irá sofrer com as variações de temperatura.

Coeficiente de dilatação da chapa de zinco (no sentido da laminagem): 0,022mm/m/°C

Perfis de zinco: 6 m de comprimento

Temperatura nos perfis [5]: Situação de inverno: -20 °C

Situação de verão: +80°C

Temperatura dos perfis na instalação: 10°C

Agora substituem-se os valores na seguinte fórmula: $\Delta L = \alpha \times L_0 \times \Delta T$

Cálculo da dilatação:

$$\Delta L = \alpha \times L_0 \times [T_{\text{máxima}} - T_{\text{instalação}}] = 0,022 \times 6 \times [(+80) - (+10)] = 9,24\text{mm}$$

Cálculo da retração:

$$\Delta L = \alpha \times L_0 \times [T_{\text{mínima}} - T_{\text{instalação}}] = 0,022 \times 6 \times [(-20) - (+10)] = -3,96 \text{ mm}$$

Os valores obtidos no cálculo da fogem um pouco à teoria de que a chapa dilata e retrai cerca 1mm por cada metro. Neste caso seria aconselhável uma junta entre painéis de aproximadamente 18mm de modo a não existir contato entre chapas,

No que respeita às variações de temperatura nos perfis de zinco, considera-se que a diferença de temperatura entre a situação de inverno e a situação de verão ronda os 100°C [51]. Como se pode constatar pelos dados do exemplo de cálculo, a diferença dá os referidos 100°C ($-20+80= 100^{\circ}\text{C}$).

Relativamente aos valores encontrados no cálculo da dilatação e da retração e de acordo com o que seria de esperar com a aplicação da regra simplificada, na qual referia que por cada metro de chapa a peça sofreria alterações de comprimento de 1mm, o valor da dilatação saiu do valor espetável, caso contrário teria que rondar os 6mm. Tal como já tinha sido referido, é uma regra simplificada e não um valor a ser tomado como certo ou garantido.

Apesar destes cálculos serem efetuados para cada chapa individualmente, é importante não esquecer que o revestimento do edifício é feito de múltiplas peças, de diversos tamanhos e que todo ele tem que se poder movimentar harmoniosamente.

No que respeita a situação real em obra, e de acordo com indicações do Engenheiro João Portugal, da empresa Umicore, na prática adotam juntas de dilatação standard, normalmente de 15mm, para que as dilatações sofridas pela peça não causem qualquer tipo de estrago. Não referem, por isso qualquer valor máximo para estes fenómenos, adotando sempre o mesmo valor, garantindo assim a segurança nas juntas entre peças. Deste modo torna-se necessário impor comprimentos máximos às peças de zinco para que a folga não seja totalmente utilizada.

Em consequência destes dois fenómenos, é necessário que as chapas de zinco estejam livres para se poderem movimentar, de modo a evitar deformações na chapa e até mesmo o rasgo da mesma.

Um tipo de fixação que garante liberdade às chapas é, caso da ligação em que existe aparafusamento das chapas, a realização de furos de forma oval para posterior encaixe dos parafusos. Deste modo fica com liberdade de movimento longitudinal e transversal.

3.2.2 Comportamento face à ação do vento

O comportamento de uma fachada de um edifício á ação exercida pelo vento possui uma importância cada vez maior, quer no dimensionamento da estrutura, quer na parte dos revestimentos exteriores. Essa importância aumenta de acordo com a altura do edifício, ou seja, quanto mais esbelto ele for, maior importância tem o vento para o seu dimensionamento.

O tipo de revestimento aplicado é também um fator condicionante para a realização do estudo, pois cada vez mais se opta pela escolha de materiais mais leves. O estudo das pressões exercidas sobre esses elementos evita que haja problemas futuros, como desprendimento de algum elemento, podendo provocar danos materiais e humanos.

É importante, no ocaso de fachadas revestidas a zinco laminado, que estas tenham capacidade para suportar a ação exercida pelo vento sobre elas. A espessura da chapa de zinco é importante, pois quanto maior for a espessura, maior capacidade a chapa tem de resistir à ação do vento.

Para uma melhor compreensão vai ser exposto um caso prático, em que através do valor da ação exercida pelo vento se vai retirar a espessura da chapa de zinco e o seu comprimento máximo. Para o cálculo da ação do vento, vai-se recorrer à NP EN 1991-1-4 de 2010 [52].

Exemplo prático:

Considere-se um projeto de edifício multifamiliar revestido a painéis de zinco com perfil de encaixe na horizontal da marca australiana "Hunter Douglas Commercial" do tipo 150 F Facade System (ver Figura 18).

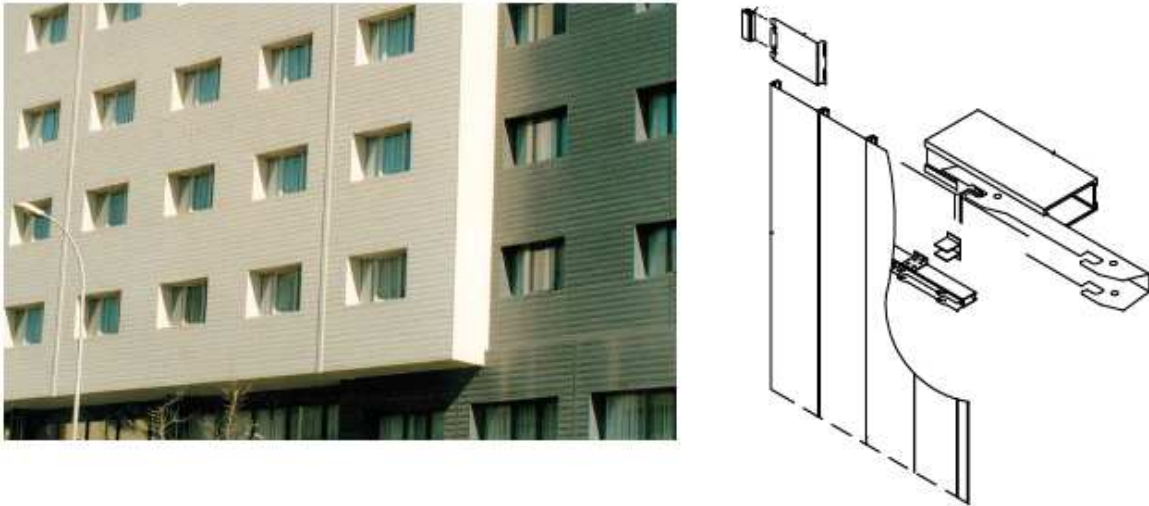


Figura 18 - Tipo de sistema de fachada 150 F [4]

O edifício, com uma área de implantação de 30x30 m² e com uma altura acima do solo de 50m, está localizado em Matosinhos, junto à costa marítima.

Pretende-se determinar as dimensões do painel (comprimento máximo e espessura) por forma a resistir à ação exercida pelo vento. Os painéis do tipo 150F têm uma largura igual 150mm.

Metodologia de acordo com a NP EN 1991-1-4:

- i. Definir a zona e retirar o valor da velocidade de referência do vento $v_{b,0}$ (ver Anexo Nacional)

Zona B - Regiões do continente situadas numa faixa costeira de 5 km de largura (Matosinhos)

Para a zona B corresponde um valor de $v_{b,0} = 30 \text{ m/s}$

- ii. Valor de referência da velocidade do vento v_b (Secção 4.2 da NP EN 1991-1-4)

$$v_b = C_{\text{dir}} \times C_{\text{season}} \times v_{b,0}$$

em que:

C_{dir} – coeficiente de direção

C_{season} – coeficiente de sazão

$$v_b = 1 \times 1 \times 30 = 30 \text{ m/s}$$

- iii. Valor da pressão dinâmica de vento q_b (Secção 4.5 da NP EN 1991-1-4)

$$q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2, \text{ em que } \rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$$q_b = \frac{1}{2} \times 1,25 \times 30^2 = 562,5 \text{ Pa}$$

- iv. Determinação da pressão de pico q_p (Secção 4.5 da NP EN 1991-1-4)

$$q_p(z) = C_e(z) \times q_b$$

Para retirar o valor de $C_e(z)$ que representa o valor do coeficiente de exposição, primeiro temos que saber a categoria do terreno (Quadro NA-4.1 da NP EN 1991-1-4) (ver Figura 19) e depois com o tipo de terreno e com a altura do edifício, retirámos o valor de $C_e(z)$ do gráfico da figura NA-4.2 da NP EN 1991-1-4 (ver Figura 20) .

Categoria de terreno		z_0 [m]	z_{min} [m]
I	Zona costeira exposta aos ventos de mar	0,005	1
II	Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura	0,05	3
III	Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: zonas suburbanas, florestas permanentes)	0,3	8
IV	Zona na qual pelo menos 15 % da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m	1,0	15

NOTA 1: As categorias de terreno II, III e IV estão ilustradas em A.1.
NOTA 2: O coeficiente de rugosidade, $c_r(z)$, é ilustrado na Figura NA.1.

Figura 19 -Categorias de terreno e respetivos parâmetros [52]

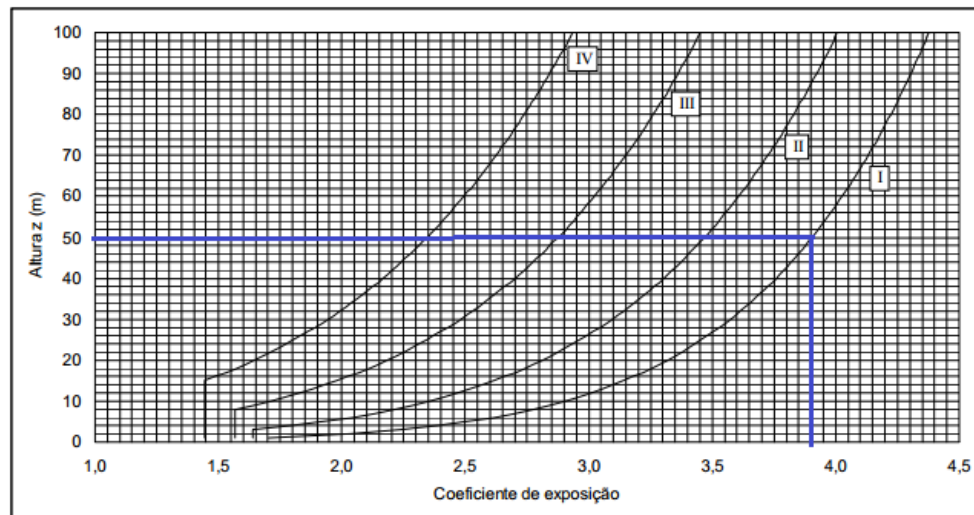


Figura 20 - Coeficiente de exposição [52]

Para uma categoria de terreno do tipo I e para uma altura de 50 m acima do solo, obtemos um coeficiente de exposição igual 3,9.

$$q_p(z) = 3,9 \times 562,50 = 2193,75 \text{ Pa} = 2,3 \text{ kPa}$$

v. Cálculo da pressão exercida pelo vento em superfícies

$W_e = q_p(z_e) \times C_{pe}$ em que C_{pe} é o coeficiente de pressão para paredes verticais

$$\frac{h}{d} = \frac{30}{30} = 1$$

De acordo com o Quadro 7.1 da NP EN 1991-1-4 (ver Figura 21) e tendo em consideração a Zona D, obtemos os seguintes valores.

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

Figura 21 - Valores recomendados dos coeficientes de pressão exterior para paredes verticais de edifícios de planta retangular [52]

$$C_{pe,1} = 1,0 \text{ e } C_{pe,10} = 0,8$$

Os coeficientes de pressão exterior dependem das dimensões da superfície carregada A e são fornecidos para superfícies carregadas de 1m² e de 10 m².

$C_{pe,1}$ destina-se ao cálculo de elementos de pequena dimensão e com uma área igual ou inferior a 1m² (coeficientes locais), enquanto que o $C_{pe,10}$ destina-se ao cálculo da estrutura resistente global de edifícios (coeficientes globais).

$C_{pe} = C_{pe,1} - (C_{pe,1} - C_{pe,10}) \times \log A$, em que A é a área da superfície carregada assumida igual a (150x1500)mm² (largura x comprimento).

$$C_{pe} = 1 - (1 - 0,8) \times \log(1,5 \times 0,150) = 1,130$$

$$W_e = 2,3 \times 1,130 = 2,60 \text{ kPa}$$

Majorando o valor da pressão que o vento exerce sobre a fachada, obtem-se:

$$W_e = 2,60 \times 1,5 = 3,90 \text{ kPa}$$

Depois de calculado o valor da pressão que o vento exerce sobre um painel, com a ajuda dos ábacos de pré-dimensionamento obtidos na empresa australiana “Hunter Douglas Commercial” [4] , obtém-se o valor da espessura e do comprimento

máximo do painel de zinco. O ábaco que se segue apenas disponibiliza 2 espessuras de painel para o material zinco, sendo esta de 0,4mm.

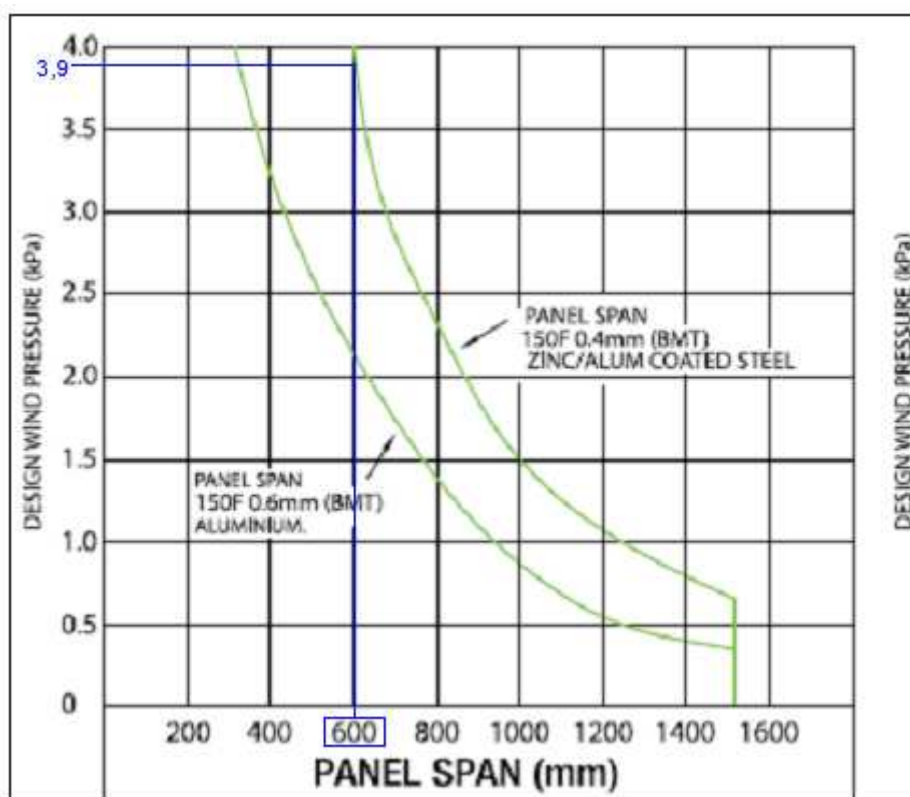


Figura 22 - Ábaco que relaciona a pressão do vento com a espessura e o comprimento do painel [4]

Pela observação do gráfico, para um valor de pressão de 3,90 kPa e para uma espessura de 0,4mm, temos que ter um comprimento de painel de aproximadamente 600mm.

3.2.3 Durabilidade

A durabilidade é uma das características mais importantes e é um dos fatores condicionantes que leva à escolha deste metal para a sua aplicação em construção civil. A resistência que este metal apresenta à corrosão está intimamente relacionada com a durabilidade do mesmo, sendo que esta pode variar consoante os locais em que se insere, dependendo também da espessura das chapas, pois quanto maior a espessura das chapas

de zinco, maior durabilidade ela vai apresentar. A Tabela 8 mostra a durabilidade do zinco de acordo com o tipo de ambiente em que se encontra inserido.

Tabela 8 - Durabilidade do zinco consoante o tipo de ambiente [5]

Tempo	Tipo de Ambiente
Aproximadamente 40 anos	Ambiente Industrial Normal
40 a 70 anos	Ambiente Marítimo
50 a 60 anos	Ambiente Urbano
90 a 120 anos	Ambiente Rural

A resistência à corrosão e sua durabilidade provém da formação de uma camada auto protetora designada pátina, cuja função é proteger o metal. A formação desta camada protetora sucede aquando da exposição do zinco às condições atmosféricas, causando deste modo a oxidação superficial do zinco. Na Figura 23 mostra as diferenças em termos de cor de superfície de uma chapa sem a formação de pátina (a) e de outra já com a pátina (b).

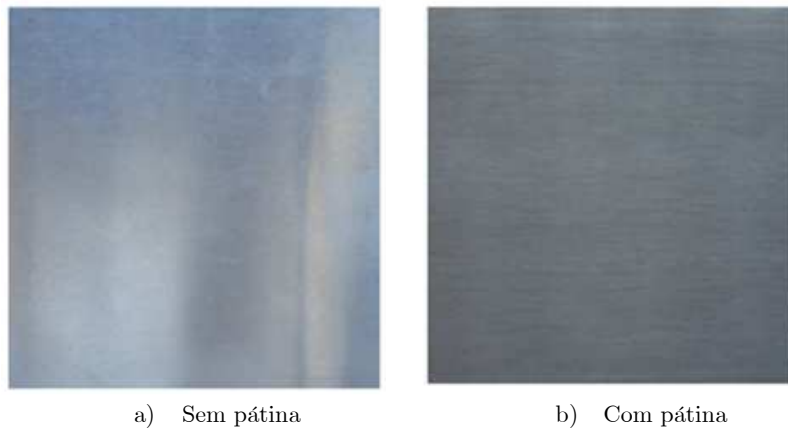


Figura 23 – Chapas de zinco sem e com formação de pátina

A formação da pátina ocorre em duas fases (ver Figura 24):

- Na primeira fase a superfície do zinco reage com o oxigénio do ar na presença de água, dando origem ao hidróxido de zinco.
- Na segunda fase o hidróxido de zinco reage com o dióxido de carbono presente no ar, formando uma camada mais densa, aderente e insolúvel na água que impede o

contato entre o oxigênio e o zinco, existindo desta forma um controle da velocidade de corrosão do metal [53, 54]. O principal componente desta camada é o hidróxido carbonato de zinco.

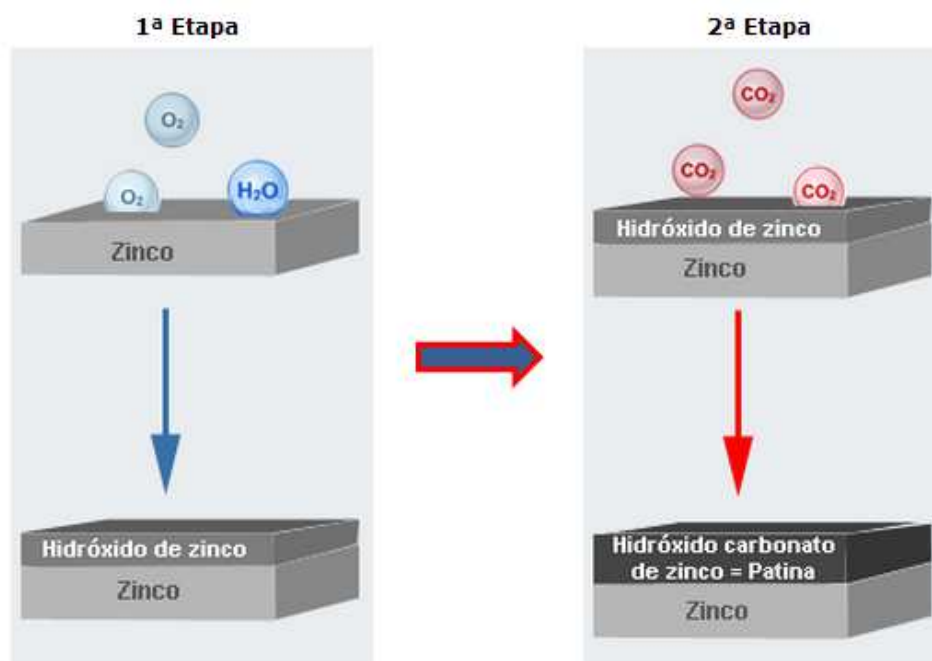


Figura 24 - Etapas da formação da pátina [53]

Existem no entanto certos poluentes que podem aumentar a velocidade de corrosão do zinco, sendo o principal o dióxido de enxofre (SO_2).

3.2.4 Corrosão química

A corrosão química consiste na deterioração dos materiais em consequência de reações químicas, e podendo ser facilmente encontrada em objetos e estruturas metálicas.

A corrosão do zinco é causada por ácidos ou sais na presença de humidade. Um dos fatores que influencia este fenómeno de corrosão é o tipo de suporte da fachada, ou seja, está relacionado com incompatibilização de materiais. Deve-se evitar ao máximo o contato direto do zinco com materiais que possam provocar a sua corrosão, por isso é muito importante que haja uma escolha minuciosa do suporte onde vai ser aplicado este metal,

caso contrário podem ocorrer reações químicas indesejáveis nas chapas de zinco. É de evitar o contato direto do zinco com rebocos, betões, águas sanitárias e madeiras ácidas.

3.2.5 Reação ao fogo

De acordo com a Portaria n° 1532/2008 de 29 de dezembro [55], define-se reação ao fogo como sendo a resposta de um produto ao contribuir pela sua decomposição para o início e desenvolvimento de um incêndio, podendo esta dividir-se em classes.

A classe de reação ao fogo é uma característica predominante em qualquer material de construção. Todos eles se podem classificar em função do seu desempenho ao fogo, isto é, qual a contribuição do material para a origem e propagação do fogo. De acordo com a especificação do LNEC E365-1990 [56], as classes de reação ao fogo dos materiais são: M0, M1, M2, M3 e M4 (ver Tabela 9).

O zinco, de acordo com esta especificação, era classificado como sendo pertencente à classe M0, ou seja, era considerado um material não combustível [57].

Atualmente a norma que rege esta classificação é outra. Em concordância com a nova norma europeia de classificação de reação ao fogo, a EN NP 13501-1 [58], o zinco metálico é classificado com sendo da classe A1. Esta classe é a mais incombustível de todas elas. A classe A1 é definida, de acordo com a legislação em vigor, como sendo um material que não contribui para qualquer etapa do incêndio.

Na Tabela 9 pode-se observar as diversas classes de reação ao fogo dos materiais, quer pela especificação do LNEC, quer pela nova norma de classificação europeia.

Tabela 9 - Classes de reação ao fogo dos materiais

Classes de reação ao fogo dos materiais			
LNEC E365-1990 [56]		EN 13501-1 [58]	
Classes	Definição	Classes	Definição
M0	Materiais não combustíveis	A1	Não combustível. Materiais que não contribuem para qualquer etapa do incêndio.
M1	Materiais não inflamáveis	A2	Não combustível. Materiais que não contribuem significativamente para a carga de incêndio nem para o seu desenvolvimento.
M2	Materiais dificilmente inflamáveis	B	Combustível. Materiais com contribuição muito limitada para o incêndio.
M3	Materiais moderadamente inflamáveis	C	Combustível. Materiais com contribuição relativamente limitada para o incêndio.
M4	Materiais facilmente inflamáveis	D	Combustível, Materiais com contribuição relativamente significativa para o incêndio.
		E	Combustível, Materiais com contribuição significativa para o incêndio.
		F	Materiais para os quais o desempenho não é determinado.

Uma vez que a reação ao fogo dos materiais de construção contidos num edifício é um fator crucial e de extrema importância para a propagação das chamas e crescimento do fogo, mesmo no que diz respeito a fachadas e coberturas, constata-se uma vez mais que o zinco é um bom material para aplicação na construção, principalmente no revestimento exterior de edifícios.

3.2.6 Características de superfície

O zinco laminado quando colocado em paramentos verticais exteriores pode conferir à fachada um aspeto estético de ondulação (ver Figura 25). São vários os fatores que condicionam esta característica na chapa de zinco, nomeadamente a espessura, a dimensão das peças de zinco e ainda o fato de as peças não se poderem mover livremente.

O zinco é um material caracteristicamente muito dúctil e de espessura reduzida, e uma vez aplicado em obra ele tem tendência a ondular. Essa ondulação torna-se mais visível no caso de as peças serem demasiado compridas (mais de 4m) ou largas (mais de 30cm). Esta é uma característica que tem sido esteticamente aproveitada pelos arquitetos que se mostram interessados pela aplicação deste tipo de material em fachadas de edifícios, podendo até, com a ajuda de certos acessórios, enfatizar ainda mais essa ondulação, criando desta forma o aspeto por eles pretendido. O sol é um dos agentes que realça essa ondulação, variando com a sua posição, sendo a mais influente quando bate na direção tangente.



Figura 25 - Aspeto ondulado em fachada

Como já referido, um aspeto chave da ondulação é a espessura da chapa de zinco, pois quando menor for a sua espessura, maior vai ser a sua tendência para ondular. O zinco é um metal que possui um módulo de elasticidade (E - módulo de Young) relativamente baixo quando comparado a outros metais. Por definição o módulo de Young é o parâmetro que mede a rigidez de um material sólido, logo o zinco é um material que tem baixa rigidez e conseqüentemente baixa resistência à flexão. É essa resistência à flexão juntamente com a espessura da chapa, que vai influenciar a ondulação, uma vez que quando menos espessa for a chapa, menor vai ser a sua resistência à flexão. Tudo isto porque um parâmetro que condiciona a resistência à flexão é o momento de inércia, de uma seção transversal retangular que é dado pela seguinte equação:

$$I = \frac{b \times h^3}{12} \quad (2)$$

considerando:

b – base da peça de zinco;

h - espessura da peça de zinco.

Quanto menor for o parâmetro h, menor vai ser o momento de inércia e conseqüentemente a resistência à flexão.

Para além das dimensões das chapas de zinco, um outro fator que pode provocar uma ondulação na chapa é o impedimento do movimento do zinco. A chapa de zinco deve ser livre de se movimentar, caso os movimentos de dilatação/retração estejam impedidos, esta pode ondular de forma anormal, provocando até mesmo a fissuração da chapa.

Embora o efeito de ondulação seja agradável no sentido estético, esta opinião poderá não ser partilhada por todos. Para minimizar esta ondulação deve-se utilizar peças de menores dimensões (menor largura e mais curtas), de maior espessura (para fachadas normalmente 0,80mm) e deve-se garantir a livre dilatação/retração da peça durante a aplicação.

3.3 Aspectos de superfície

Para uma maior variabilidade de tons e compatibilidade estética do zinco com outros materiais de construção, os produtores de zinco oferecem uma variedade de tonalidades que vai desde a cor natural do zinco até à mais colorida. Essa coloração pode ser obtida por processos naturais ou químicos.

Esta gama de coloração faz com que as chapas de zinco possam ser aplicadas tanto em edifícios modernos, como em reabilitação de edifícios mais antigos.

Os aspectos de superfície encontram-se divididos em zinco natural, zinco pré-patinado, zinco com pigmento de cor e zinco bilacado. O zinco, além de todas as cores e acabamentos disponíveis no mercado, apresenta um aspecto “riscado”, que lhe é conferido pelas “cicatrices” provenientes pela laminagem da chapa (Figura 26).

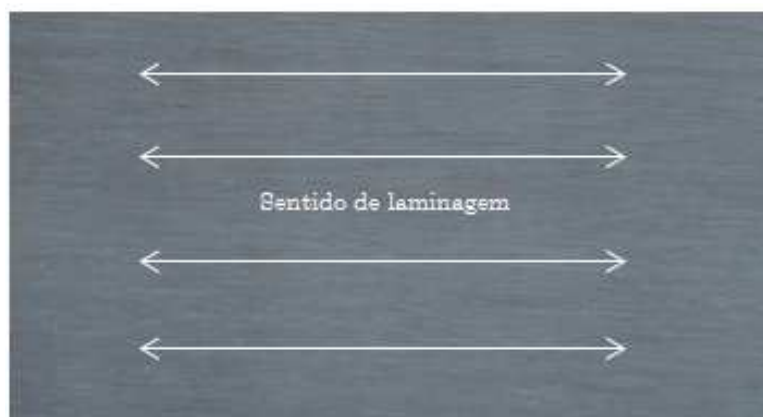


Figura 26 - Cicatrizes de laminagem da chapa de zinco

O zinco natural é o zinco original e possui um aspeto metálico. Este tom inicial é substituído por um tom cinzento claro, num prazo de seis meses a dois anos. Esta alteração de coloração é causada pela exposição ao ar, obtendo desta forma a sua pátina natural [59] (ver Figura 23). O zinco natural é o que acaba por ter um melhor comportamento.

O zinco pré-patinado divide-se em dois tipos, diferindo na sua coloração. Tem-se então a tonalidade Quartz e a Anthra. O acabamento de ambos é obtido em fábrica, pela imersão do zinco numa solução que modifica a sua estrutura cristalina. Trata-se de um processo de fosfatação, isto é, de uma transformação química que tem como objetivo criar na sua superfície uma camada fina de fosfato insolúvel, cuja finalidade é proteger o metal da corrosão, aumentar a aderência às pinturas, facilitar a lubrificação e diminuir o atrito [60].

O zinco Quartz além de poder obter a sua pátina por processos químicos, pode também obtê-la por processo natural de oxidação, devido à exposição atmosférica. O zinco natural aplicado como revestimento exterior passa a ter a tonalidade similar ao Quartz, adquirindo um tom cinza aveludado [61].

O zinco Anthra é também um pré-patinado, adquirido exclusivamente pelo processo de fosfatação e possui uma tonalidade similar à da ardósia.

Disponíveis no mercado, ainda dentro dos pré-patinados, existem um tipo em que lhes são adicionados uns pigmentos minerais, conferindo-lhes um acabamento colorido. Esta hipótese de acabamento confere ao zinco uma maior capacidade de conjugação com outros materiais, aumentando deste modo o seu campo de aplicação [62]. A Figura 27 mostra os possíveis tipos de acabamentos disponíveis para os painéis de zinco, à exceção dos bilacados.



Figura 27 - Amostras de diversos aspectos de superfície do zinco [63]

Uma outra possibilidade de superfície são os bilacados, cujo nome provém do fato de ter uma cor diferente em cada superfície (ver Figura 28). Este é obtido pela aplicação de uma laca de poliéster polimerizada no forno. Contrariamente ao que acontece a outros materiais lacados, os arranhões neste tipo de superfície não vão provocar o “descasque” da lacagem nem o aparecimento de ferrugem, devido à capacidade auto protetora do zinco [64]. Este tipo de acabamento oferece uma melhor proteção ao zinco.

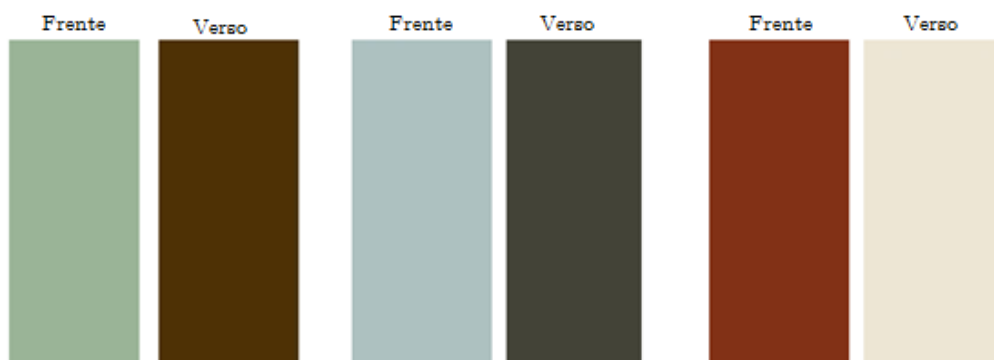


Figura 28 – Cores disponíveis no mercado de zinco bilacado [64]

3.4 Manuseamento, armazenagem e transporte

Uma propriedade inerente deste material é a sua excelente resistência, no entanto o seu manuseamento requer uma série de cuidados, nomeadamente (ver Figura 29) [5]:

- Deve-se evitar atirar as chapas para o chão, com o efeito de poder provocar um enrugamento ou amolgamento nas folhas, podendo causar uma posterior rotura nessa zona;
- Não deslizar nem arrastar as folhas de zinco sobre superfícies com saliências, podendo provocar riscos profundos que poderão vir a originar roturas durante a quinagem ou até mesmo depois de colocadas as chapas, por efeito de dilatação/retração.

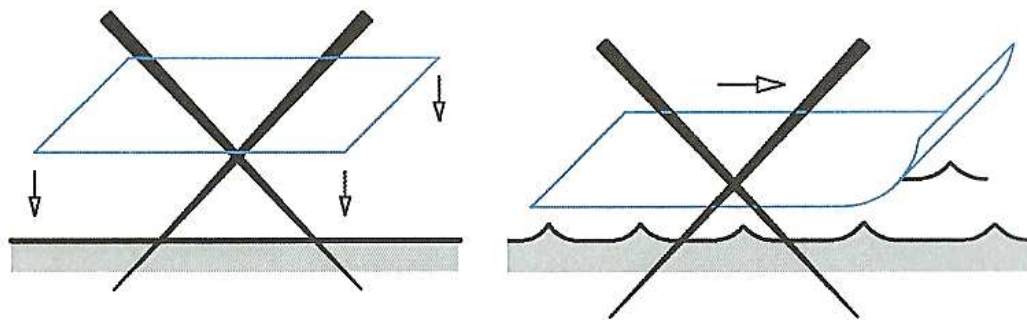


Figura 29 – Precauções no manuseamento do zinco [5]

Além das precauções no seu manuseamento, também existem cuidados no que respeita ao armazenamento e ao transporte. O armazenamento das bobines de zinco deve ser em local abrigado e ventilado, separadas do solo através de um espaço que permita uma boa ventilação. As folhas de zinco devem ser armazenadas em suporte plano, limpo e sem saliências.

O modo de transporte depende da distância a percorrer, podendo este ser realizado manualmente (Figura 30 a)) ou com recurso a meios mecânicos (Figura 30 b)).

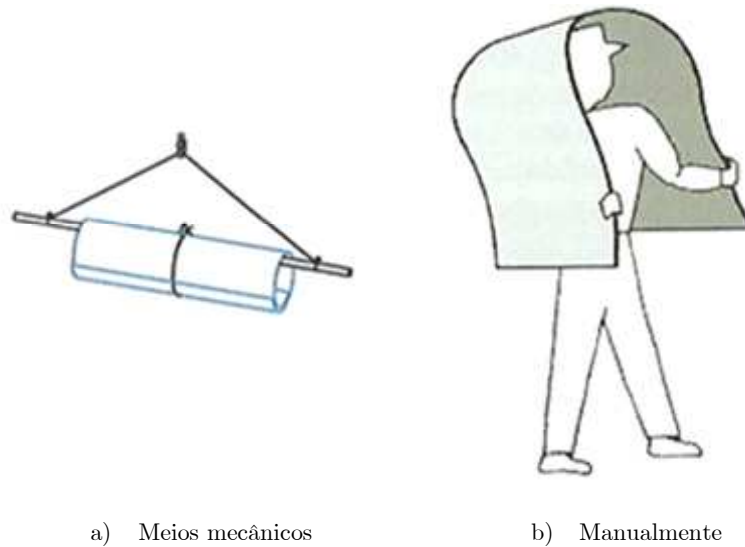


Figura 30 – Modo de transporte do zinco [5]

Quer no transporte, quer no armazenamento devem ser garantidas condições que preservem o zinco da humidade, de modo a evitar qualquer alteração de superfície.

Para além das fases de transporte e armazenamento existem outras fases em que é muito importante tomar precauções no manuseamento do zinco, neste caso das peças.

Na fase de manipulação e instalação dos elementos em obra, o zinco vem coberto por uma película plástica na face exterior com o objetivo de o proteger. Esta película apenas deverá ser retirada após a instalação.

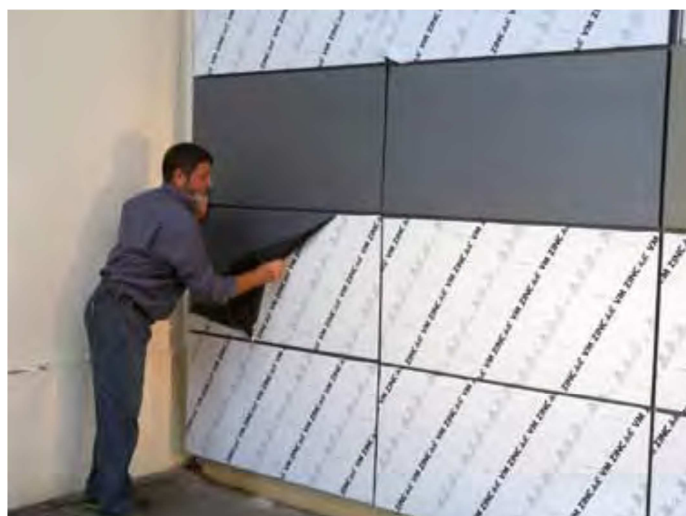


Figura 31 - Remoção da película plástica após finalizada a instalação [6]

3.5 Estereotomia

Por definição, estereotomia é a ciência que estuda o corte ou a divisão dos materiais, neste caso dos materiais na construção civil. A escolha da estereotomia é uma fase importante quando nos referimos a fachadas de edifícios.

Este estudo é fundamental quando se refere a fachadas em zinco uma vez que é necessário realizar a divisão das peças e ver os tamanhos apropriados para os painéis.

Por vezes a escolha e o estudo da estereotomia num edifício não é simples. Ela é condicionada pelos vãos e por vezes, dependendo da arquitetura e da geometria da edificação, a modulação dos painéis pode tornar-se mais complexa. Para além da divisão do revestimento, o termo estereotomia engloba o dimensionamento e a localização das juntas. No caso de fachadas deste tipo deve ser realizado um projeto para a estereotomia do edifício.

Na Figura 32 apresenta-se o exemplo da fachada de um edifício e do respetivo projeto de estereotomia.



Figura 32 - Parte de projeto de estereotomia de uma fachada e a solução final

Existem várias formas de se proceder à divisão das peças de zinco, ficando esta ao critério dos arquitetos responsáveis pelo projeto. De seguida são apresentados alguns exemplos reais de estereotomias adotadas para revestimento de fachadas em zinco.



Figura 33 - Exemplos de estereotomia (projetos realizados pela marca “VMZINC”)

3.6 Ventilação

A ventilação é um fator importante a ter em conta desde a fase de projeto de uma edificação. No interior de um edifício existe sempre uma certa quantidade de vapor de água provocado pelas atividades diárias de quem nele habita [65]. Tarefas simples do nosso quotidiano como tomar banho, cozinhar ou até mesmo dormir acrescentam quantidades de água o ar, por mais pequenas que sejam.

Este vapor de água proveniente do interior das habitações quando não é dissipado, devido a más condições de ventilação, pode provocar condensações nas chapas de zinco. A humidade por condensação é a mais frequente nos edifícios e é provocada pela saturação do vapor de água.

A maior preocupação é evitar a ocorrência de tais condensações no interior das chapas de zinco, sendo o zinco um material praticamente impermeável ao vapor de água [34]. Caso ocorra condensação na face interior do metal, esta pode provocar corrosão do zinco, como veremos mais adiante na secção 5.3.

As condensações aparecem especialmente em zonas de pontes térmicas e nos envidraçados, sendo tanto mais significativas quanto maior for o diferencial térmico entre o ambiente interior e exterior [34].

Para evitar estas condensações torna-se necessário ventilar adequadamente para diminuir os níveis de humidade interiores. Para um maior grau de ventilação, o zinco laminado deve ser preferencialmente colocado sobre um suporte, formando deste modo uma caixa-de-ar ventilada entre o isolamento e as chapas de zinco [5]. Deve ser garantida uma ventilação adequada entre o suporte e a estrutura, que permita eliminar o vapor de água transferido pelas ações climatéricas exteriores e interiores [5].

As ações climatéricas pelo interior e pelo exterior que ocorrem nas fachadas são as mesmas que ocorrem nas coberturas de edifícios (ver Figura 34).

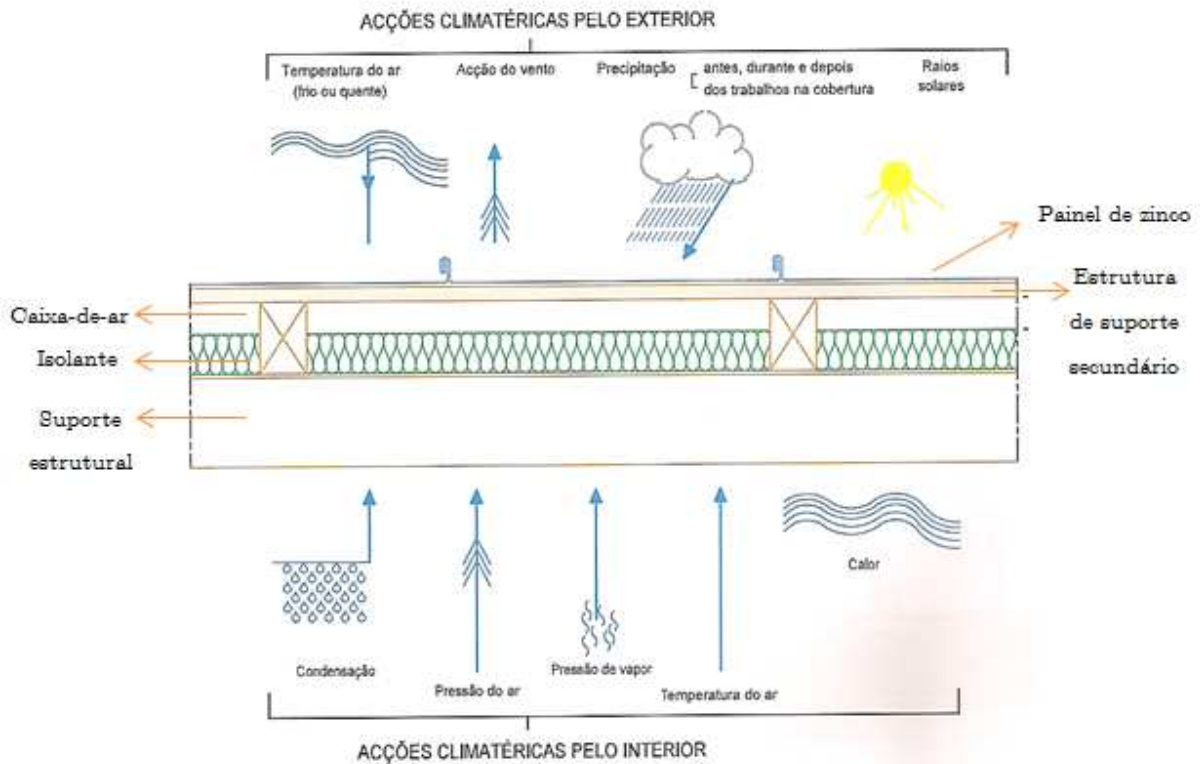


Figura 34 - Ações climáticas [5]

Segundo o manual da marca “Vmzinc”, numa fachada a lâmina de ar deve ter uma espessura mínima de 20mm e no caso de ter isolamento térmico, deve-se ter em conta a possibilidade de certos isolantes poderem expandir [5].

Em sistemas de fachadas a ventilação contínua é garantida por uma entrada de ar na zona inferior e uma saída na parte superior da mesma, através de orifícios (Figura 35).

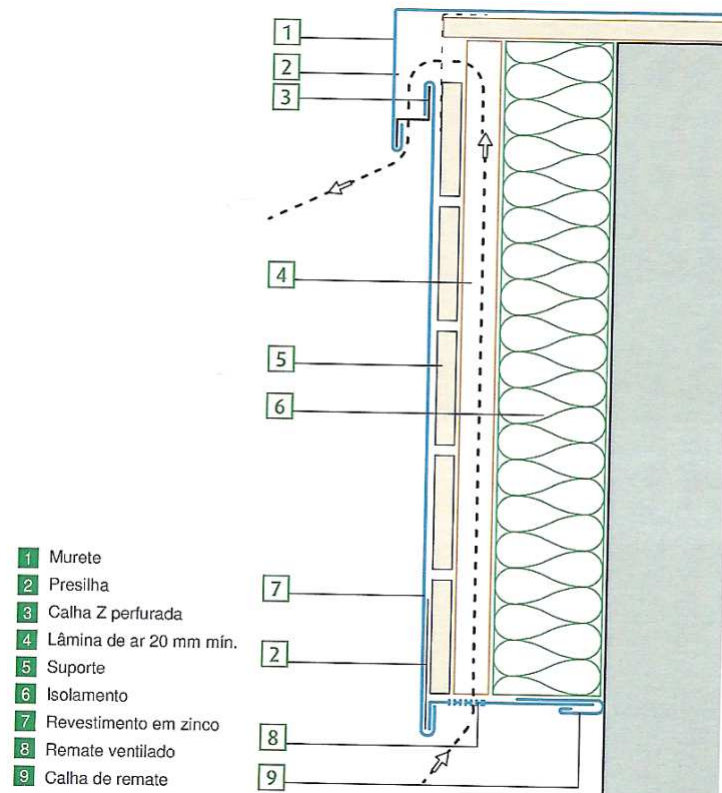


Figura 35 - Ventilação numa fachada de zinco [5]

Este tipo de ventilação pode ser observado em sistemas de fachada ventilada. No caso de fachadas não ventiladas, não vai existir qualquer câmara-de-ar entre o suporte e a chapa de zinco, mas ao contrário do que é suposto pensar vai existir uma pequena ventilação por mais ínfima que seja. Esta vai ser garantida com a aplicação da tela pitonada (Figura 36), que será abordada com maior ênfase na secção 5.2.3. Esta tela para além de proteger o zinco de vários materiais incompatíveis, os seus nódulos vão fazer com que se crie uma micro ventilação entre a própria tela e as chapas de zinco, gerando deste modo uma passagem de ar.

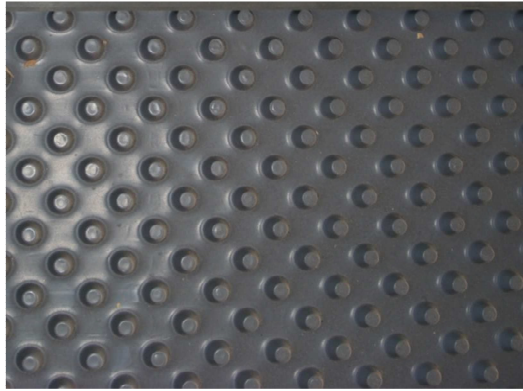


Figura 36 - Tela pitonada

4. Tipos de Fachadas

A fachada de um edifício é um elemento crucial para a valorização do mesmo, sendo que esta, juntamente com a cobertura constitui um invólucro da edificação. Ela constitui a zona mais exposta da edificação e estabelece a barreira de separação entre o interior e o ambiente exterior. O revestimento exterior é responsável pela manutenção das condições ambientais internas, nomeadamente o conforto térmico e acústico. A escolha do tipo de sistema construtivo a utilizar na totalidade da fachada é fundamental no que respeita ao desempenho final da envolvente [66].

Em Portugal, a conceção das fachadas têm sofrido ao longo dos anos, uma grande evolução no que respeita às soluções construtivas devido ao aparecimento e avanço das tecnologias e às exigências de conforto [66]. As fachadas dos edifícios eram inicialmente paredes simples realizadas em pedra, argila, entre outros materiais. Estes tipos de matérias foram utilizados até aos anos 40, tendo depois surgido, na década de 50, as primeiras paredes duplas, em que o pano exterior era realizado em alvenaria de pedra enquanto o pano interior era de alvenaria de tijolo. Nos anos 60 surgiram as paredes de alvenaria de tijolo vazado em ambos os panos, com espessuras distintas, aligeirando deste modo a constituição das paredes. Na década seguinte já se realizavam fachadas idênticas às dos anos 60, diferindo o fato de ambos os panos já possuírem a mesma espessura [67].

Com o aumento das exigências térmicas de conforto higrotérmico na década de 80, começaram a introduzir-se materiais de isolamento térmico. Este material isolante era utilizado para preencher, parcial ou totalmente, a caixa-de-ar entre os dois panos, minimizando desta forma a troca de calor entre o interior e o exterior. Através desta nova solução conseguia-se reduzir as necessidades de arrefecimento e aquecimento e também uma diminuição de condensações [67].

Nos anos 90, com a entrada em vigor do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) surgiu uma nova preocupação, o tratamento de pontes térmicas. Por definição, uma ponte térmica é qualquer zona da envolvente dos edifícios em que a resistência térmica é significativamente alterada em relação à zona corrente, podendo esta alteração ser proveniente da existência localizada de materiais de diferentes condutibilidades térmicas ou por uma modificação na geometria da envolvente, como é o caso das ligações entre diferentes elementos construtivos [68]. É na década de 90 que surge em Portugal uma nova técnica construtiva que consistia na colocação do isolamento pelo exterior [66].

Em 2000, começaram a ser introduzidos em Portugal diferentes sistemas de isolamento térmico, pelo exterior e pelo interior, de modo a melhorar o conforto térmico e controlando a temperatura do interior do edifício, conseguindo então as trocas de calor entre o exterior e o interior do edifício [67]. Na Figura 37 apresenta-se a evolução das fachadas em Portugal.

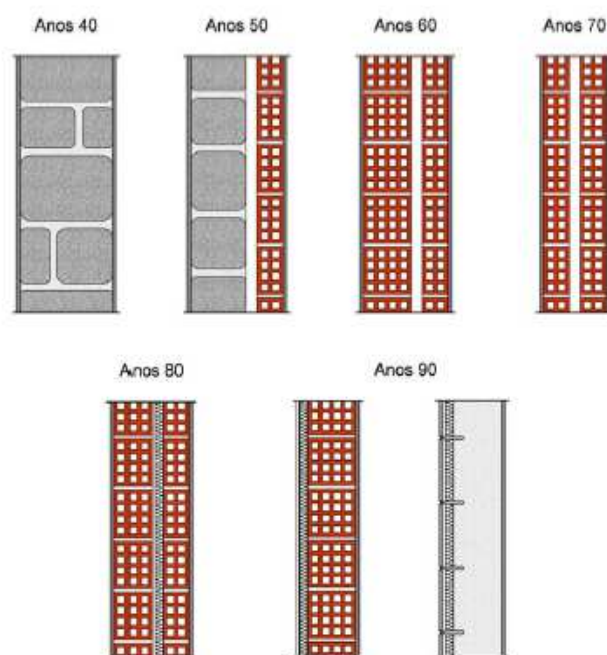


Figura 37 - Evolução das fachadas em Portugal [67]

Atualmente e devido à evolução construtiva de fachadas pode-se dividir as fachadas em dois grandes grupos:

- Fachadas não ventiladas (aderentes);
- Fachadas ventiladas (não aderentes).

Apesar de se poder dividir as fachadas em dois grupos, ambas devem cumprir uma série de exigências funcionais. Estas exigências decorrem da necessidade de que os edifícios possuam características economicamente aceitáveis de modo a permitir a satisfação das necessidades dos seus habitantes.

- Principais funções dos revestimentos:
 1. Proporcionar impermeabilização;
 2. Corrigir irregularidades;
 3. Facilitar a limpeza;
 4. Melhorar o aspeto estético, quando o suporte é de má qualidade;
 5. Durabilidade.

O estabelecimento de exigências funcionais para os edifícios e seus órgãos decorre da necessidade de que os edifícios possuam características que permitam a satisfação das necessidades dos seus utentes em condições económicas aceitáveis.

Devem-se verificar as seguintes exigências funcionais nos revestimentos de paredes exteriores:

1. Proteger o tosco de parede das ações dos diversos agentes agressivos;
2. Segurança

- i. Estabilidade;
 - ii. Segurança contra riscos de incêndio;
 - iii. Segurança no contato.
3. Estanqueidade à água;
 4. Termo-higrométrica (resistência térmica);
 5. Conforto acústico;
 6. Conforto visual (planeza, verticalidade, regularidade superficial);
 7. Conforto tátil;
 8. Higiene;
 9. Adequação ao uso (resistência a ações de choque e atrito, resistência à ação da água);
 10. Compatibilidade com o suporte (química, mecânica e geométrica).

4.1 Fachadas não aderentes (fachadas ventiladas)

Como referido anteriormente as fachadas têm sofrido, ao longo dos anos, uma evolução constante, devido ao aparecimento de novos materiais e de novos sistemas construtivos. As mais recentes soluções de fachadas têm evoluído para soluções mais leves, surgindo assim as chamadas fachadas ventiladas, que contribuíram para uma maior economia de energia, evitando pontes térmicas, levando assim a um maior conforto, qualidade e durabilidade do edifício [67].

Uma fachada ventilada é definida como sendo um sistema de revestimento exterior descontínuo de uma edificação, caracterizado pelo afastamento entre a parede do edifício e

o respetivo revestimento, deixando entre eles uma caixa-de-ar [69]. Este tipo de fachada é constituído por vários elementos, sendo eles (ver Figura 38) [66,69] :

- Estrutura de suporte;
- Estrutura de fixação para aplicação do revestimento;
- Isolamento térmico;
- Câmara-de-ar ventilada;
- Revestimento exterior de fachada (nesta caso específico, o zinco).



Figura 38 - Componentes de uma fachada ventilada [66]

O termo “ventilada” deriva do fato de existir uma câmara-de-ar entre o revestimento e o isolante. Esta vai permitir que haja uma ventilação natural e contínua, através do efeito de chaminé. No efeito de chaminé o ar entra frio pela parte inferior e sai quente para parte superior (ver Figura 39) [66]. Este fluxo de ar no sentido ascendente é o resultado do aquecimento do ar no interior da caixa, sendo que, as diferenças de pressão que ocorrem no interior da câmara-de-ar ventilada, devido à ação do vento, também contribuem para a ventilação [67]. Este fluxo de ar origina um arejamento da parede de suporte, conseguindo evitar desta forma possíveis humidades e condensações [66].

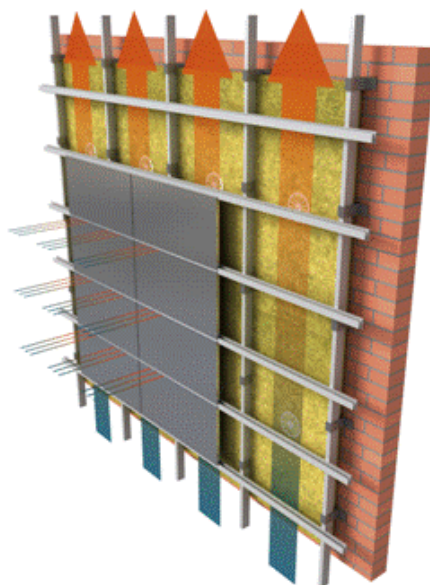


Figura 39 - Esquematização do sentido do fluxo de ar numa fachada ventilada [70]

São muitos os materiais que podem ser utilizados como material de revestimento exterior para este tipo de fachadas, tais como a pedra, fenólico, alumínio, madeira, vidro, zinco, entre outros.

Este tipo de sistema de construção apresenta inúmeras vantagens, que se encontram situadas ao nível da melhoria estética e funcional da fachada do edifício, nomeadamente [67,69]:

- Excelente isolante térmico;
- Bom isolamento acústico;
- Redução do consumo de energia;
- Boa impermeabilidade;
- Diminuição de problemas de humidade;
- Maior durabilidade;
- Melhoria estética.

No caso concreto do zinco como material de revestimento, também este tem como opção ser aplicado como fachada ventilada.

4.2 Fachadas aderentes

As fachadas aderentes ou fachadas não ventiladas são as que se designam normalmente por fachadas tradicionais, aquelas que não possuem qualquer tipo de estrutura de fixação nem caixa-de-ar exterior.

As paredes exteriores de um edifício podem ser de dois tipos, paredes simples (ver Figura 41) ou paredes duplas, sendo que o mais comum nos dias de hoje é a parede simples com revestimento pelo exterior (ver Figura 40) ou parede dupla com revestimento entre os dois panos. Em caso de reabilitação de edifícios podem surgir casos de parede dupla com sistema de isolamento pelo exterior.

Legenda:

1. Suporte
2. Produto de colagem
3. Isolante térmico - EPS
4. Camada de base
5. Armadura – rede de fibra de vidro anti-alkalina
6. Camada de acabamento
7. Primário
8. Revestimento final

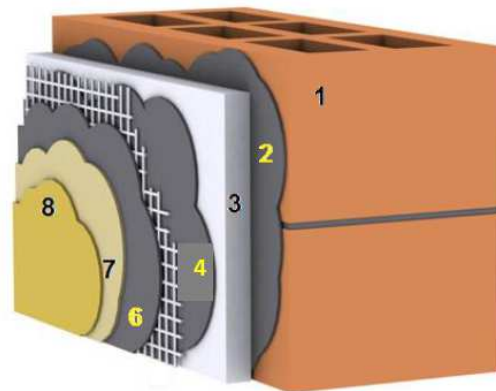


Figura 40 - Parede com sistema do tipo “etics” [71]

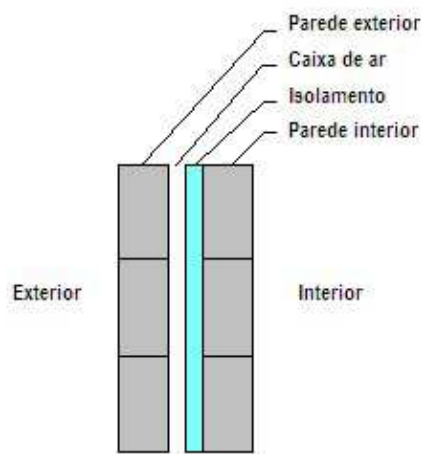


Figura 41 - Parede dupla com isolamento [72]

Apesar deste tipo de fachada ter uma construção mais simplificada, não necessitando de qualquer tipo de suporte intermédio, as desvantagens no que respeita ao revestimento exterior são maiores. Neste tipo de fachadas os revestimentos aplicados normalmente são o revestimento cerâmico e pintura, e ambos podem implicar uma série de desvantagens.

No caso de revestimentos cerâmicos, podem ocorrer destacamentos das peças, fluorescências, enquanto na pintura pode ocorrer descascamento da camada de tinta, formação de bolhas, aparecimento de fungos, entre outras anomalias possíveis.

A indústria do zinco, além de ter sistemas que conferem fachadas ventiladas, também tem disponíveis sistemas de fachada aderente. É importante referir que a aplicação deste metal como revestimento exterior da fachada não acarreta tantos efeitos indesejados como acontece nos revestimentos referidos anteriormente, sendo talvez por isso uma boa solução, dado as inúmeras vantagens do zinco, como poderemos ver mais à frente na secção 5.4.

Um dos problemas das fachadas não ventiladas é a possível ocorrência de condensações. As fachadas apesar de serem classificadas como não ventiladas, possuem um sistema que lhes garante uma ventilação, embora bastante reduzida, como veremos na secção seguinte.

5. Tecnologias de aplicação de zinco laminado em fachadas

São muitos os sistemas de fachadas em zinco laminado que se encontram disponíveis no mercado quer nacional, quer internacional, podendo estes variar de país para país. Existem sistemas que são exclusivamente usados em determinado país, como o caso do sistema Camarinha que é apenas aplicado em Portugal.

Em Portugal os sistemas de fachada mais aplicados são o sistema de encaixe, o sistema camarinha e o sistema de junta agrafada.

Os sistemas de fachadas são tecnicamente idênticos aos de cobertura, uma vez que inicialmente apenas as coberturas eram revestidas a zinco. Uma das escolhas primordiais do tipo de fachada recairá sobre a opção de fachada ventilada ou não, sendo que o aspeto estético e o seu enquadramento na natureza são também fatores importantes a considerar.

A Figura 42 ilustra o exemplo de uma moradia, localizada na marginal de Gondomar, revestida com zinco, mostrando o seu enquadramento com o meio envolvente.



Figura 42 - Casa revestida a zinco (Localização: Gondomar)

As chapas de zinco que vão revestir a fachada podem possuir diversas formas geométricas, composições, tipo de suporte e formas de fixação e montagem. As chapas podem ser planas ou onduladas e existem no mercado além das chapas simplesmente constituídas por zinco, chapas que contêm certo tipo de isolante e até mesmo painéis fotovoltaicos incorporados.

Com estas inovações leva-se a crer que este campo da construção civil é um ramo em constante evolução e podem ser várias e promissoras as criações futuras.

Ao longo deste capítulo vão ser desenvolvidos os vários tipos de soluções para sistemas de fachadas que se podem encontrar no mercado nacional e internacional.

Tabela 10 - Tipos de sistemas de fachadas

Tipo de Sistema	Tipo de fachada
Perfil de Encaixe	Ventilada/Não ventilada
Composite	Ventilada/Não ventilada
Perfil Ondulado	Ventilada/Não ventilada
Painéis fotovoltaicos	Ventilada/Não ventilada
Junta Agrafada	Não ventilada
Camarinha	Não ventilada
Dexter®	Não ventilada
Losangos	Não ventilada
Soletos	Não ventilada
Adeka®	Não ventilada
Mosaik®	Ventilada

Nas fachadas em zinco, quando referimos o termo ventilada ou não ventilada, estamos a falar se existe ou não ventilação entre o suporte e a chapa de zinco e não entre a estrutura e o suporte. Seguidamente vão ser abordados com maior pormenor os tipos de sistemas possíveis de aplicar em fachadas.

5.1 Tipos de sistema de fachadas

5.1.1 Sistema de encaixe

Este tipo de painel pode ser instalado quer em fachada ventilada ou não ventilada. Neste tipo de sistema os painéis estão unidos entre si através de encaixes em cada painel e são fixos à estrutura através de fixações mecânicas não visíveis. Na figura seguinte pode-se observar um caso real de parte de uma parede exterior revestida a sistema de encaixe.



Figura 43 - Parede exterior revestida a zinco através do sistema de encaixe [6]

A chapa de zinco vai ser fixa em uma das suas extremidades, enquanto a extremidade oposta apenas vai encaixar na peça seguinte, conferindo à peça liberdade para se poder movimentar aquando as dilatações/retrações. Na Figura 44 observa-se um exemplo de aplicação deste tipo de sistema e ainda um pormenor construtivo.

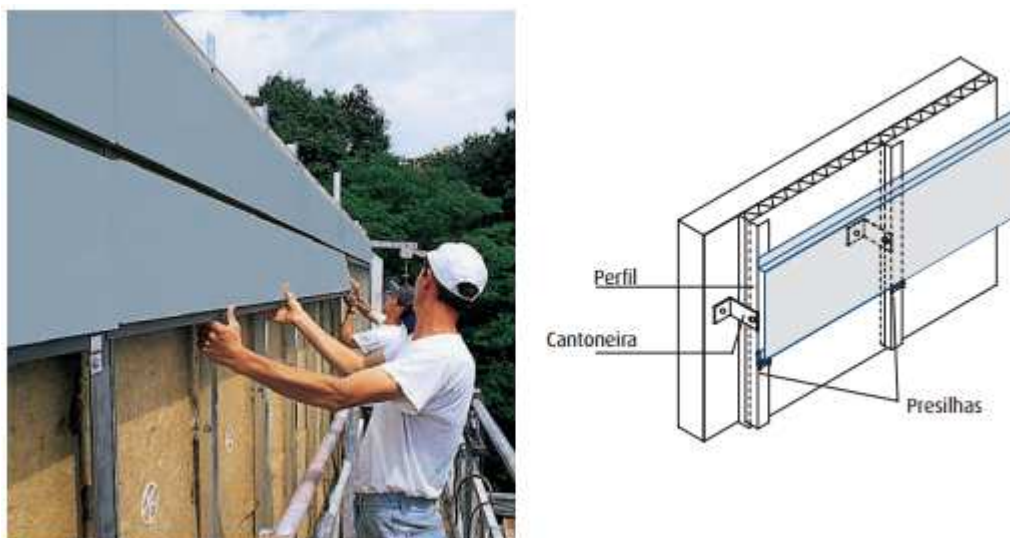


Figura 44 - Exemplo de aplicação do sistema de encaixe [6]

Este tipo de sistema é normalmente instalado sob uma estrutura secundária, sendo ela uma estrutura metálica, que será fixada à estrutura de suporte, criando assim uma fachada ventilada. Esta estrutura secundária, também denominada por ossatura, pode ser metálica (aço galvanizado ou alumínio) ou de madeira. No caso de fachada ventilada entre o suporte e as chapas de zinco pode ainda ser colocado um isolante térmico, como o poliestireno extrudado. O tipo de isolante a utilizar deverá respeitar as normativas nacionais e deve ser um isolante não absorvente, semi ou completamente rígido e não deve contribuir para a propagação de fogo exterior.

O painel de zinco pode ser também aplicado na própria estrutura de suporte (fachada não ventilada), tendo no entanto que colocar a tela pitonada em PEAD entre eles para evitar possíveis efeitos de incompatibilidade. A estrutura de suporte por ser constituída por uma simples parede de betão ou alvenaria ou por uma estrutura principal de madeira ou metálica.

No que respeita a dimensões, estes painéis podem ir até a um valor máximo de 6m de comprimento, mas se este sistema for aplicado em zonas expostas a grandes variações climáticas o comprimento será limitado a 4m. Por norma, os limites impostos aos

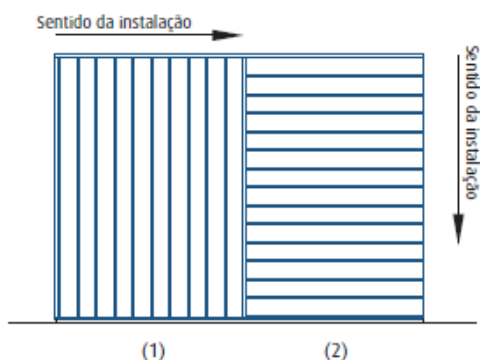
comprimentos das chapas são condicionados pelo peso próprio das mesmas ou pelo comprimento máximo de uma quinadeira. Se na fábrica em que se produzem as chapas de zinco existir uma quinadeira com apenas 4m, as dimensões das chapas estão também condicionadas (ver Figura 45).



Figura 45 - Quinadeira (comprimento da chapa = 4m) (Fábrica da “VMZINC”)

Estes perfis de encaixe podem ser instalados vertical e horizontalmente, dependendo esta escolha das diferentes soluções estéticas e das técnicas para o tratamento dos principais remates e acabamentos [6]. Nos casos de painéis horizontais, estes devem ser instalados de cima para baixo com o encaixe direcionado para baixo. No caso de painéis verticais, estes são colocados igualmente de cima para baixo, iniciando a colocação num dos cantos do edifício [6]. Na figura seguinte pode-se visualizar o sentido de instalação dos painéis, seja ela na vertical ou na horizontal.

Alternância horizontal (direita/esquerda)



Alternância vertical (parte superior/parte inferior)

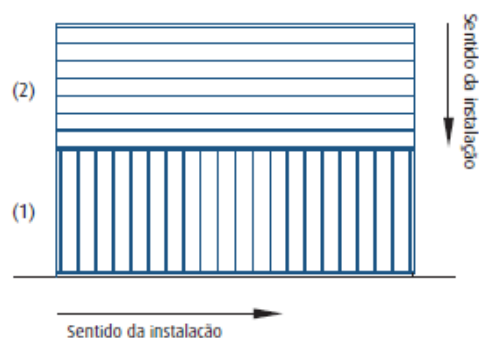


Figura 46 - Sentido de encaixe dos painéis [6]

A instalação deve ser feita nos sentidos referidos devido ao modo como os painéis devem ser colocados e de acordo com as fixações.

A fixação destes painéis à estrutura não é visível. Neste tipo de aplicação vai existir uma zona, chamada de zona fixa, que será a primeira linha de perfis na parte superior da fachada, em que os painéis vão ser fixos à estrutura secundária por meio de parafusos auto-roscantes [6]. Depois basta apenas encaixar o próximo painel na ranhura dos painéis superiores e fixar a parte inferior, seguindo sempre este esquema de montagem (ver Figura 47). Estas fixações seguintes já estão fora da zona fixa, podendo utilizar-se presilhas que permitam que o zinco possa dilatar/contrair.



Junta longitudinal

- 1 Painel da fachada
- 2 Presilha de fixação

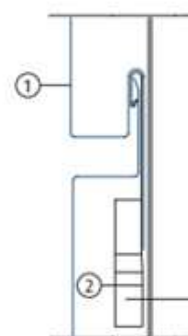


Figura 47 - Pormenor de encaixe entre painéis [6]

Alternativamente à utilização de presilhas, pode-se realizar furos ovais no painel, no qual vão ser arroscados os parafusos. Os furos da forma oval fazem com que a peça se possa movimentar, não impedindo os movimentos de dilatação/retração (ver Figura 48).



Figura 48 - Furo ovalizado em painel

No caso de painéis horizontais, a união transversal entre os painéis está assegurada por uma tapa junta, enquanto no caso de painéis verticais a união transversal está assegurada por uma pingadeira contínua [6].



Figura 49 - Tapa juntas para união transversal para painéis horizontais

A tapa junta impede a passagem da água, obrigando-a a descer quando esta embate na fachada (Figura 49).

5.1.2 “Composite”

O “Composite” é um painel multicamadas composto por duas folhas de zinco com uma espessura de geralmente 0,5mm e por uma camada intermédia de polietileno com aproximadamente 3mm, de forma a assegurar uma excelente resistência ao fogo [6, 7]. Na Tabela 11 estão indicadas possíveis dimensões para os painéis e na Figura 50 está representado com pormenor a constituição de um painel deste tipo.

Tabela 11 - Dimensões dos painéis de zinco [6]

Largura máxima	1000mm (pode ir até 1250mm caso aumente a espessura do zinco)
Comprimentos	2000mm, 3000mm, 4000mm, até o máximo de 6000mm
Espessura do zinco	0,5mm no geral, podendo ter também 0,7mm se for do zinco tipo Quartz

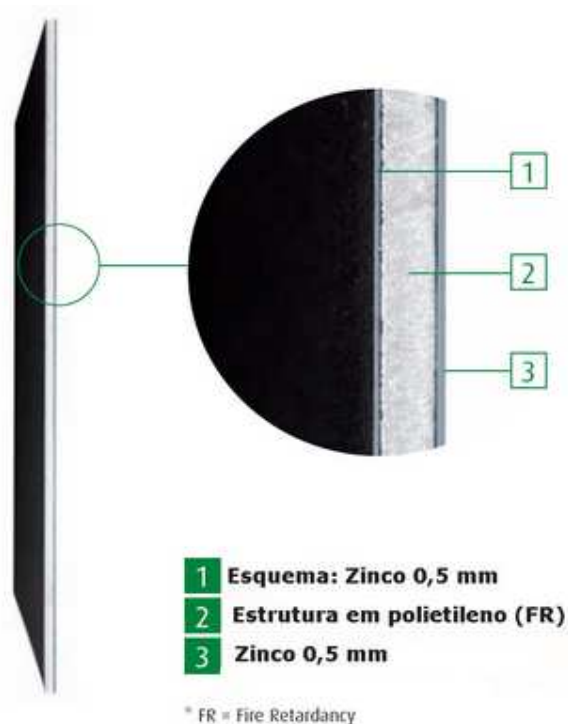


Figura 50 - Painél “Composite” [7]

Este tipo de sistema é normalmente aplicado, deixando uma lâmina de ar entre o isolante e a placa “Composite” ou entre a alvenaria e as placas, caso não se aplique nenhum tipo de isolante, garantindo deste modo a ventilação da fachada. É um sistema indicado sobretudo para fachadas do tipo ventiladas, contribuindo desta forma para uma diminuição do consumo energético do edifício [6].

O tipo de suporte admissível para estes painéis são uma estrutura portante em alumínio, fixa à estrutura de betão ou ao pano de alvenaria, ou então a uma estrutura metálica [6]. Relativamente à instalação, estes painéis podem ser colocados através de placas cravadas ou aparafusadas ou por um sistema de cassetes, podendo este ser na vertical ou na horizontal [7]. Nos dois pontos seguintes apresentam-se os detalhes de cada um destes sistemas.

5.1.2.1 Sistema cravado ou aparafusado

Este sistema de fachada ventilada é composto por placas de “Composite” fixadas por parafusos ou rebites a uma estrutura de alumínio, sendo esta formada por perfis horizontais e verticais [6]. Na Figura 51 pode-se visualizar uma situação real da aplicação deste tipo de painel para revestimento de uma parede.



Figura 51 - Parede revestida a painéis “Composite” com sistema de fixação por parafusos ou rebites [7]

Entre a estrutura de suporte e o revestimento pode ainda ser aplicado um isolamento complementar, sendo que nesta caso a ventilação do isolamento deverá ser garantida por uma caixa-de-ar geralmente com 2cm, passando entre a camada isolante e a parte posterior da cassete [7].

Na Figura 52 pode-se visualizar um exemplo de um esquema de montagem dos painéis através do sistema de fixação cravado ou aparafusado.



Figura 52 - Pormenor de montagem do sistema cravado/aparafusado [6]

Tal como em todos os tipos de sistemas é crucial ter em atenção as futuras dilatações que os painéis possam a vir sofrer, tanto ao nível da sua fixação quanto ao nível do espaço livre deixado entre os elementos. Para tal, a largura da junta côncava deixada entre dois painéis deve ser proporcional à dilatação esperada [7].

Na Figura 53 encontra-se representado um corte transversal e um corte horizontal deste tipo de sistema de fixação, na qual se visualiza com maior pormenor a fixação dos painéis de zinco sobre o esquadro de alumínio.

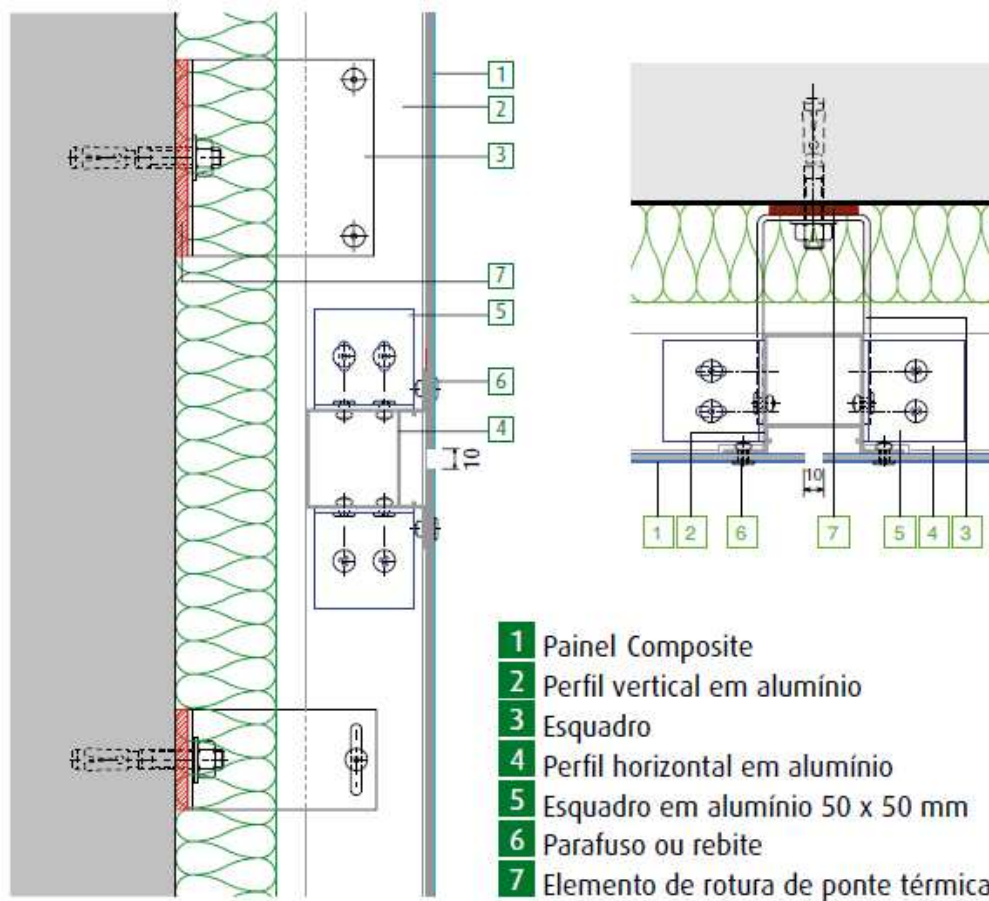


Figura 53 - Pormenor construtivo do sistema cravado/aparafusado (corte transversal e horizontal)

[6]

5.1.2.2 Sistema de cassetes

O sistema de cassetes para este tipo de painel é um revestimento de fachada aplicada à base de painéis conformados em cassetes, fixando-se por sua vez a uma estrutura com perfilados de alumínio (Figura 54), tal como acontecia para o sistema cravado ou aparafusado [7].



Figura 54 - Parede revestida a painéis “Composite” com sistema de fixação por cassetes [6]

Estas cassetes não são mais que peças modulares em zinco retangulares, como se pode visualizar na figura seguinte.

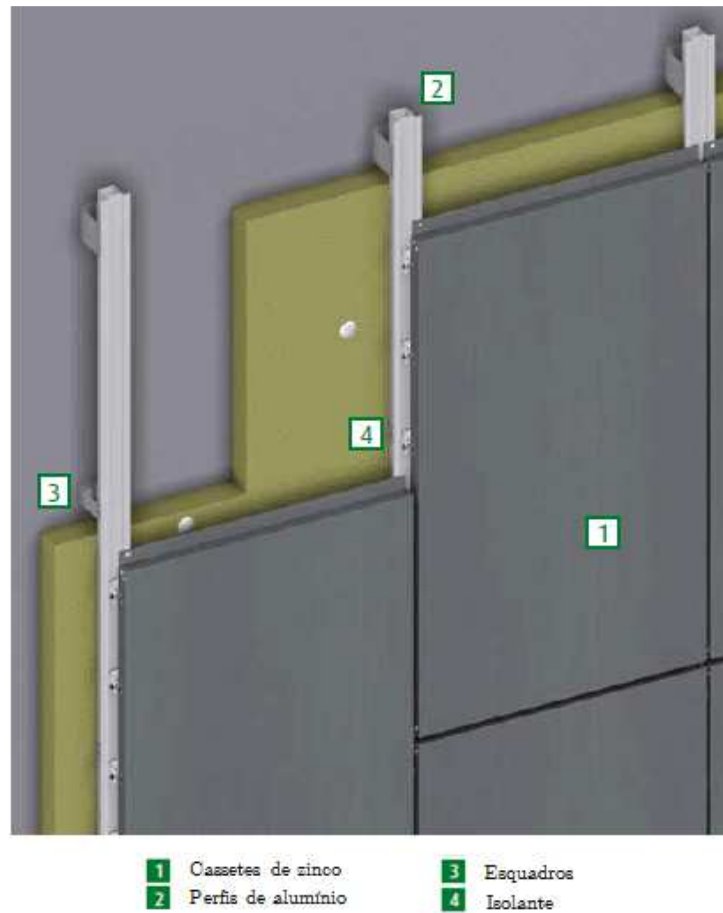


Figura 55 - Exemplo de um sistema de cassetes [6]

Para este tipo de instalação são possíveis dois tipos de configuração, sendo elas cassetes na vertical ou na horizontal (Figura 56) [7].

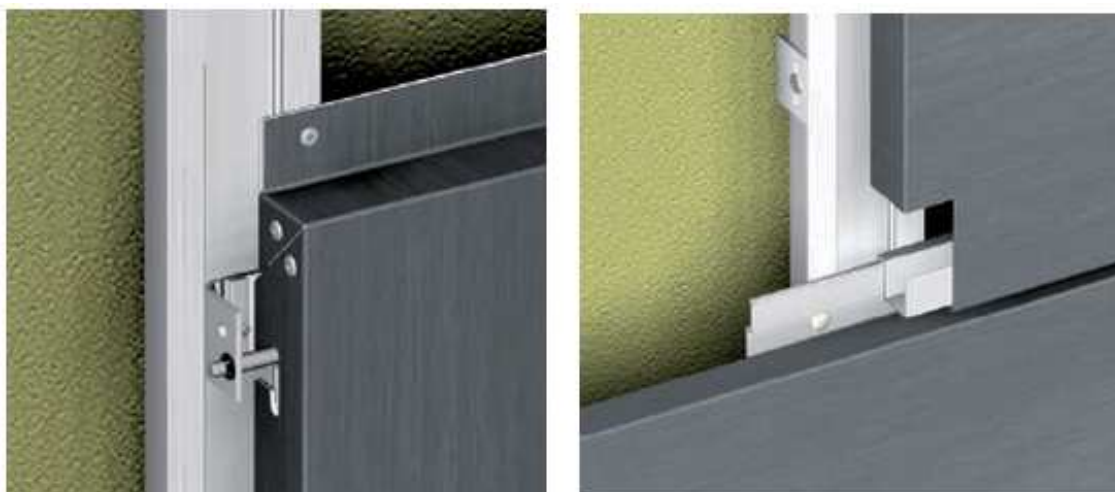


Figura 56 - Sistema de cassetes no sentido vertical e horizontal, respetivamente [6]

Nas figuras seguintes estão representados em pormenor os cortes transversais dos sistemas de cassetes, quer para cassetes verticais (Figura 57), quer para horizontais (Figura 58).

Na Figura 57 podem ser observadas com maior pormenor o local de ligação do painel de zinco ao perfil de alumínio e o local de sobreposição das cassetes. Numa das ligações do painel ao perfil vai existir uma presilha móvel para garantir o livre movimento da cassette.

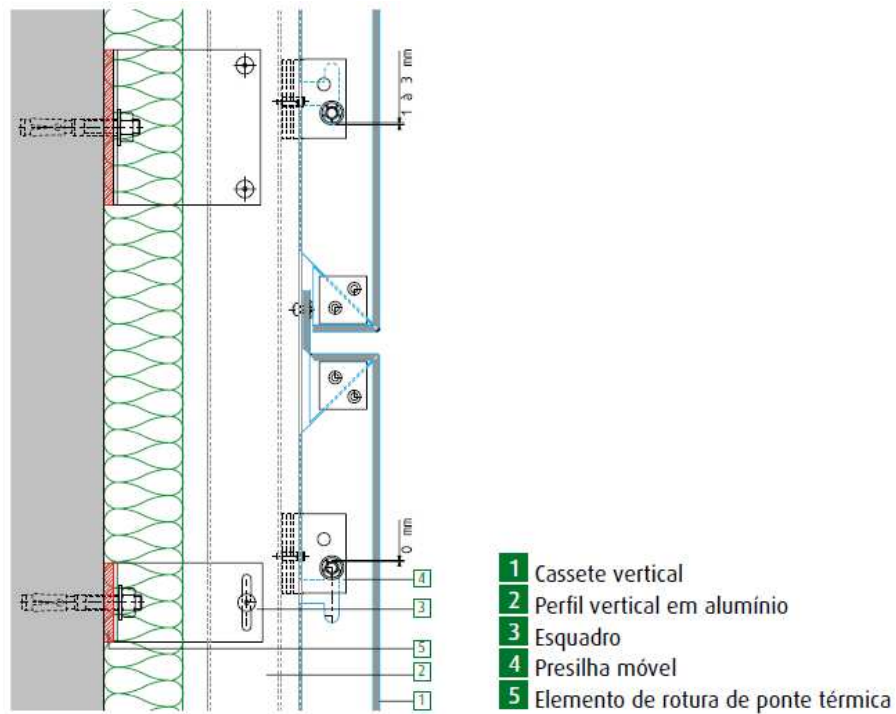


Figura 57 - Pormenor construtivo do sistema de cassetes verticais [6]

Na Figura 58 temos o caso de cassetes horizontais. Estas, de acordo com o que se pode visualizar no pormenor são fixas a um perfil disposto na horizontal.

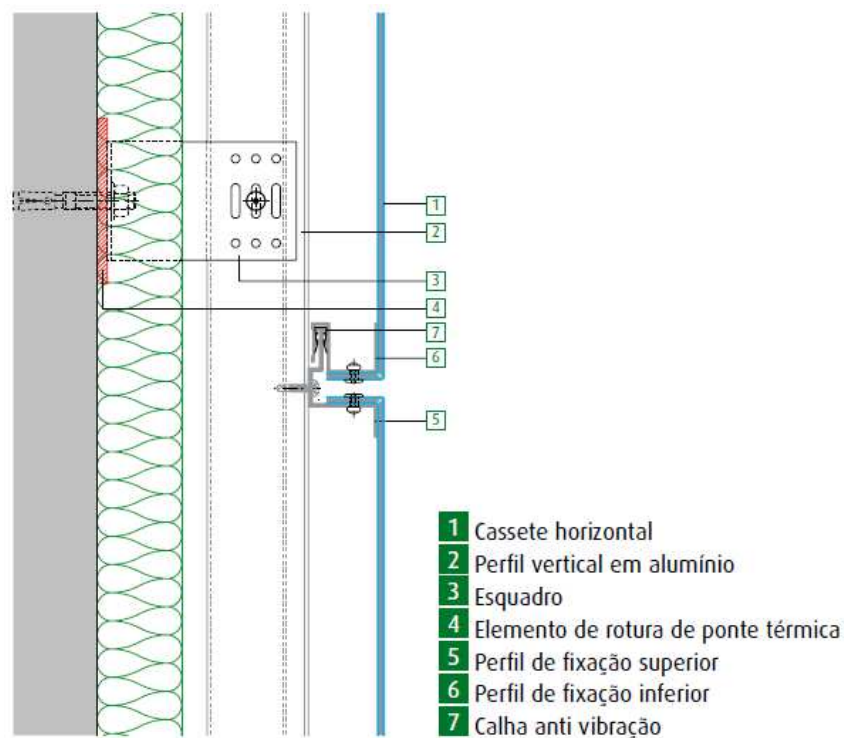


Figura 58 - Pormenor construtivo do sistema de cassetes horizontais [6]

5.1.3 Perfil ondulado

Este sistema de revestimento de fachada pertence à família das fachadas ventiladas. Este perfil é instalado sobre uma estrutura de apoio, podendo esta ser de madeira ou metálica. Na Figura 59 pode-se observar um caso real, em que foi aplicado este tipo de perfil numa fachada de um edifício.



Figura 59 - Fachada de um edifício revestido a perfil de zinco ondulado [6]

Na Figura 60 apresenta-se um corte transversal deste tipo de perfil no qual se pode observar os elementos constituintes de uma fachada para este tipo de sistema

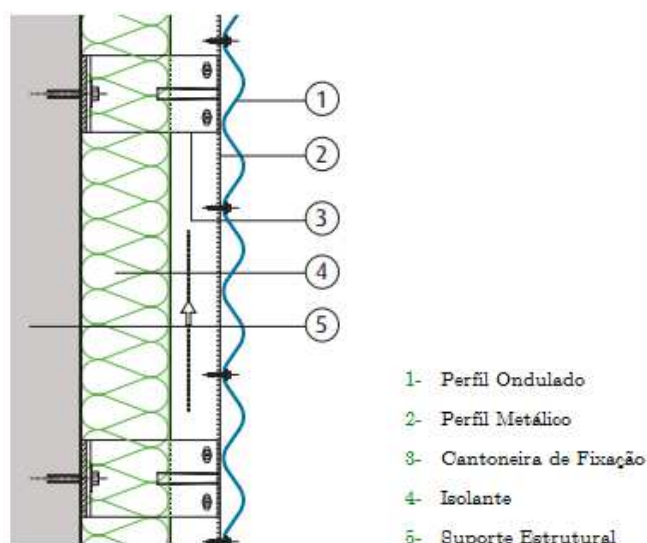


Figura 60 - Esquema construtivo do sistema perfil ondulado [6]

O perfil ondulado oferece uma gama de combinações de comprimentos de onda e pode ser instalado tanto na horizontal como no sentido vertical [6]. Pode ainda, dependendo dos fabricantes, ser aplicado na diagonal. As dimensões dos vários tipos de combinações de comprimento de onda estão relacionadas com o comprimento de onda e a respetiva profundidade, como se pode observar na figura seguinte.

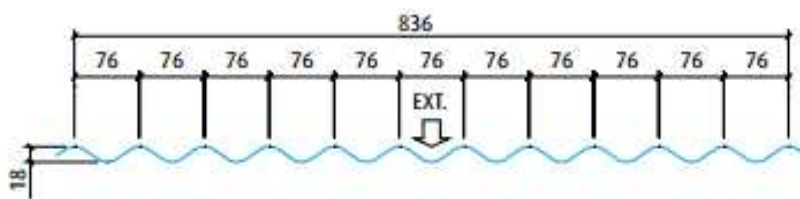


Figura 61 – Exemplo de perfil ondulado da VMZINC 76/18 [6]

Em termos estéticos este sistema permite obter uma variedade de efeitos baseados no contraste luz/sombra que se podem obter com este sistema [6].

Em termos de comprimentos máximos, estes perfis podem ter um comprimento máximo de 6m, ou em caso de a edificação se situar em zonas com forte variação de temperatura, deve ter um máximo de 4m.

A fixação destes perfis é realizada com parafusos auto-roscentes, devendo estes ser aplicados de duas em duas ondas ou de onda a onda no caso de painéis com comprimentos de onda menores ou em todas as ondas para comprimentos de onda maiores. Nas zonas em que vai haver sobreposição dos painéis, a fixação deve ocorrer na parte inferior da onda a cada 0,5m. Na Figura 62 ilustram-se exemplos do modo de fixação e de sobreposição dos perfis ondulados, referentes a uma marca específica.

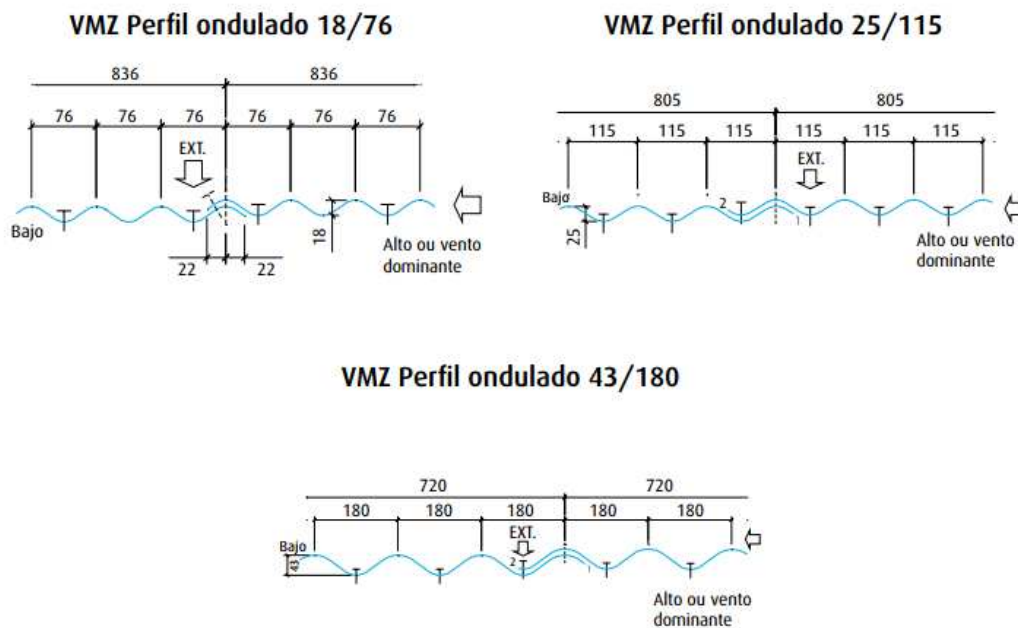


Figura 62 – Diferentes soluções de sobreposição entre painéis e disposição possível dos parafusos auto-roscentes para os diversos comprimentos de onda [6]

Para o perfil ondulado a montagem dos pontos fixos será realizada com os parafusos auto-roscentes e a montagem dos pontos móveis será através de uma pré-fixação do perfil, com um diâmetro superior a 3mm do diâmetro do parafuso utilizado no local de sobreposição das chapas. No caso de os perfis serem colocados na vertical, é fixada a parte superior e a parte inferior poderá dilatar. Se forem instalados na horizontal deve-se fixar a parte

central e os extremos poderão dilatar. Nestes casos os painéis não devem exceder os 3m de comprimento [6].

Uma outra forma de fazer a união dos perfis para além da sobreposição dos mesmos, é a opção de um tapa juntas entre eles [6].

Tratando-se este tipo de sistema de fachada como sendo uma fachada do tipo ventilada é necessário a existência de uma câmara-de-ar entre o isolante térmico aplicado e o perfil em zinco. É necessário prever uma câmara de ventilação de 20mm entre estes dois constituintes da fachada.

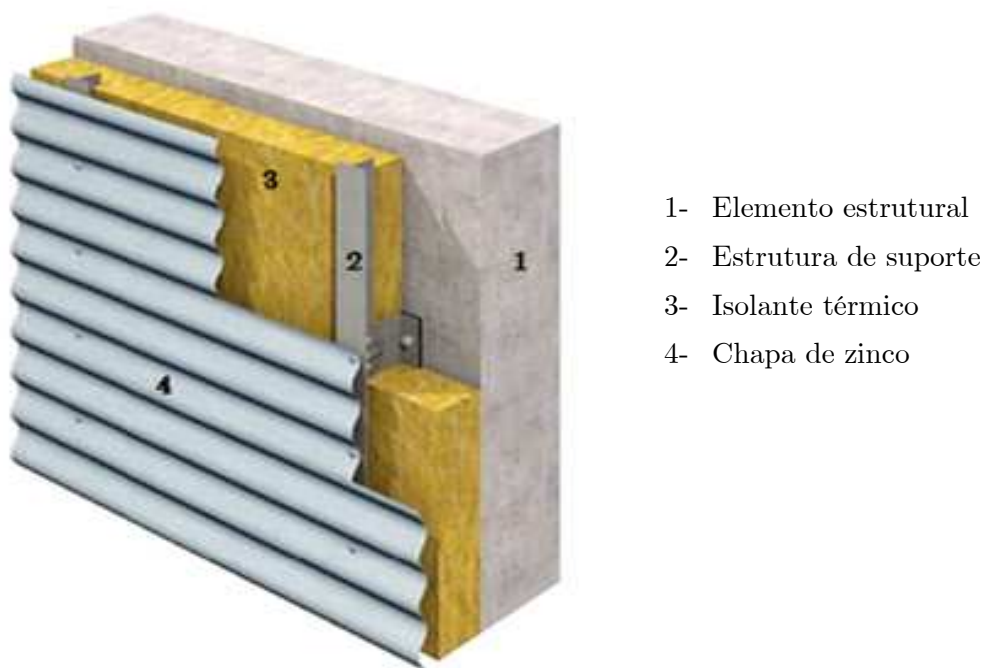


Figura 63 - Imagem representativa do perfil ondulado [73]

5.1.4 Sistema de junta agrafada

Este sistema consiste em agrafar as chapas entre si ao longo de todo o seu comprimento, como podemos visualizar na Figura 64, que ilustra uma moradia cuja fachada é realizada com este tipo de sistema.

Este tipo de perfil, ao contrário do perfil de encaixe, não pode ser instalado como fachada ventilada devido à sua instalação.



Figura 64 - Moradia unifamiliar revestida a zinco com sistema de junta agrafada [7]

Para este tipo de sistema, estão disponíveis dois tipos de dobras da chapa, a de fecho simples e a de fecho duplo (Figura 65).

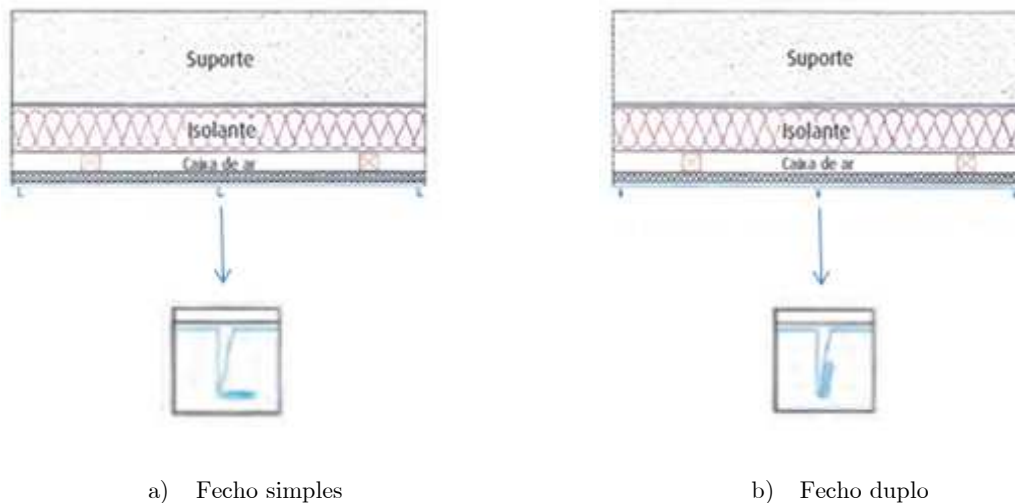


Figura 65 - Tipos de fecho para junta agrafada [6]

O sistema de junta agrafada pode ser instalado sobre ripado de madeira maciça ou sobre painéis derivados e os painéis são fixados ao suporte através de presilhas [6]. Essas presilhas podem ser de dois tipos, fixas ou móveis (Figura 66) e são em aço inox [5]. As presilhas fixas são utilizadas no topo, para fixar os painéis à estrutura. No restante são

aplicadas presilhas móveis para que as peças se possam movimentar livremente. Este tipo de presilhas, as móveis, é utilizado exclusivamente neste tipo de sistema de fachada.

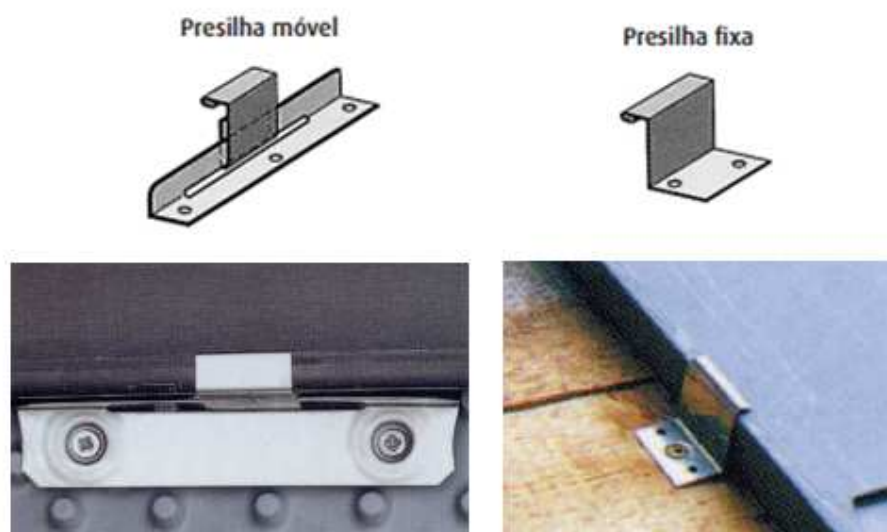


Figura 66 - Tipos de presilhas [6]

Estes painéis podem ser aplicados quer na vertical, quer na horizontal e a perfilagem das nervuras pode ser realizada tanto em fábrica como no próprio local da obra. A perfilagem é realizada com uma máquina, em que por um lado entra a chapa de zinco e por outro sai já a chapa perfilada pronta a aplicar em obra (ver Figura 67). As nervuras das chapas de zinco para este sistema podem variar entre 33cm, 43cm ou 58cm.



Figura 67 - Máquina de perfilagem das chapas de zinco

O esquema de montagem deste sistema é relativamente simples. Começa-se por colocar o painel sobre o suporte e procede-se à fixação com as presilhas (Figura 68, 1ª e 2ª imagens). Seguidamente o perfil em L do painel antecedente e as presilhas que foram colocadas e fixas ao suporte são recobertos pelo U invertido do perfil seguinte evitando tensões e tração lateral (Figura 68, 3ª imagem). Em seguida, manual ou mecanicamente, realiza-se o primeiro fecho do perfil, fixando as duas chapas uma à outra (Figura 68, 4ª imagem). Para um duplo fecho, procede-se a um segundo (Figura 68, 5ª imagem) fecho [7]. Deve – se deixar uma folga de 5mm entre as chapas no sentido transversal para que haja uma livre dilatação nas chapas sem exercer pressão sobre as presilhas de fixação, permitindo o livre movimento dos ganchos das presilhas móveis [5].

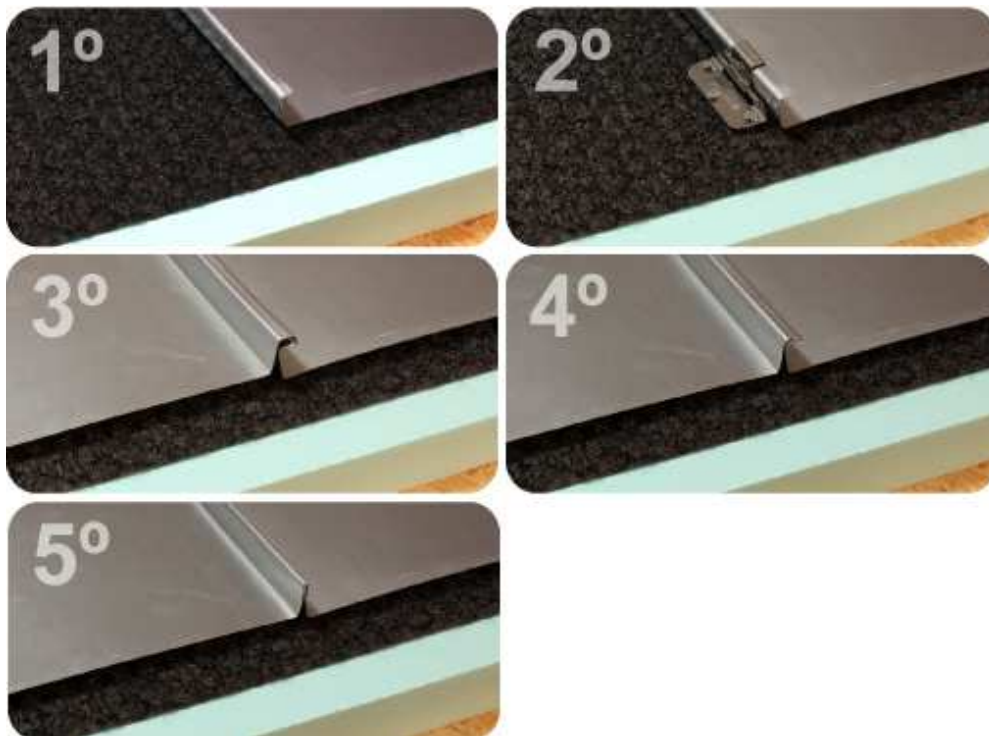


Figura 68 - Exemplo de montagem de junta agrafada [74]

5.1.5 Painéis fotovoltaicos integrados

Os painéis fotovoltaicos é um tipo de painel que pode ser introduzido num revestimento de fachada em que os perfis contêm painéis fotovoltaicos fixados à chapa de zinco através de colagem de alta resistência. Estes painéis são compostos por células microcristalinas de alto rendimento e vão contribuir positivamente para o comportamento energético do edifício [6].

Geralmente são colocados sobre suporte secundário de madeira ou metálico e encontram-se disponíveis os sistemas de junta agrafada e perfil de encaixe (ver Figura 69).



Figura 69 - Painél fotovoltaico em perfil de encaixe e em perfil de junta agrafada [6]

O preço deste tipo de painel é elevado, podendo cada unidade rondar os 500 euros.

O fato destes painéis terem a capacidade de captar a energia solar, transformando-a em energia elétrica faz com que sejam utilizados em fachadas inteligentes. Este tipo de fachada difere das fachadas ditas tradicionais na medida em que incorporam dispositivos cujo controle vai permitir a adaptação da envolvente do edifício para funcionar como um moderador das condições externas, visando o conforto de quem o habita [75].

5.1.6 Sistema Camarinha

O sistema Camarinha é um tipo de sistema exclusivo da marca Asturiana e que foi concebido na década de 60. Este sistema resultou do desenvolvimento do tradicional

sistema Tasseaux, sistema este, utilizado em coberturas desde os tempos primórdios do zinco.

Este sistema de fachada não ventilada consiste em encaixar as chapas entre si sob nervuras laterais ao longo de todo o seu comprimento, depois de colocadas as presilhas de fixação ao suporte [5] (ver Figura 70).



Figura 70 - Junta Camarinha

A sua montagem é fácil, sendo as suas peças pré-fabricadas. No que respeita ao tipo de suporte, este pode ser instalado sobre qualquer madeira compatível ou sobre painéis derivados de madeira, também eles compatíveis [6].

Na instalação deste tipo de sistema deve-se começar com a colocação das chapas sobre o suporte. Na extremidade com o lado em U foram previamente distribuídas presilhas que se encontram fixas ao suporte (Figura 71 a)). A chapa de zinco seguinte será colocada pela extremidade em forma de L, entrando essa lateralmente na junta da chapa precedente, e assim sucessivamente (Figura 71 b)). Nesta fase deve-se sempre deixar uma folga de modo a permitir a dilatação transversal da chapa e evitar as tensões laterais nas chapas [7].

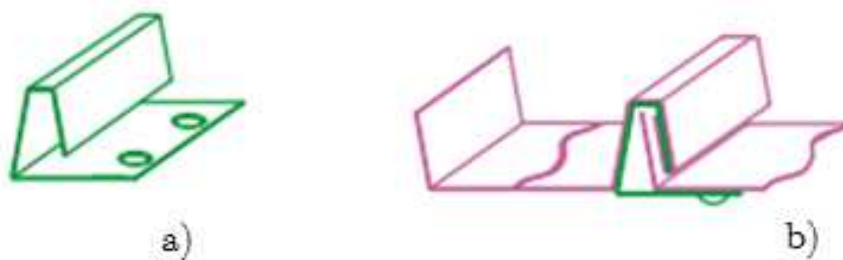


Figura 71 - Presilha de fixação e pormenor de fixação [6]

É importante evidenciar que as presilhas de fixação estão fixas ao suporte e não às chapas de zinco, de modo a que se possa movimentar. A distância entre as presilhas deverá ser de 0,50cm, podendo variar de acordo com a zona climática onde se insere o edifício [7]. Para a fixação das presilhas são utilizados dois parafusos de aço inox por cada presilha [6].

Para este sistema, o comprimento máximo dos painéis é de 6m [7]. Os fatores que influenciam o comprimento máximo destes elementos são, para além de não existirem quinadeiras com comprimentos superiores a 6m, o que torna impossível peça de maiores dimensões, o fato de não existirem estudos específicos para este sistema de fachada.

5.1.7 Sistema “Dexter”

O sistema de revestimento de fachada “Dexter” é um perfil de zinco registado pela Vmzinc e é um sistema inovador e pré-fabricado. Na Figura 72 apresenta-se um exemplo de uma parte de um edifício revestido por este tipo de sistema.



Figura 72 - Fachada revestida com sistema “Dexter” [6]

Estes perfis foram criados para permitirem uma fácil aplicação sem necessidade de recorrer a grandes ferramentas. É portanto um produto que poderá ser encontrado em embalagens (Figura 73) em lojas comerciais de “bricolage”, podendo ser aplicado pelo próprio comprador. Encontram-se disponíveis em peças de 400x1013mm (peça inteira) ou 400x597mm (meia peça). Este produto é fabricado exclusivamente em Portugal, sendo depois exportado para várias partes do mundo, sendo o seu principal país de exportação os Estados Unidos.



Figura 73 – Painéis “Dexter” embalados para comércio

Estes elementos são aplicados no sentido longitudinal pelo simples engate uns nos outros, não necessitando de qualquer fecho, como se pode observar pelo corte transversal representado na Figura 74.

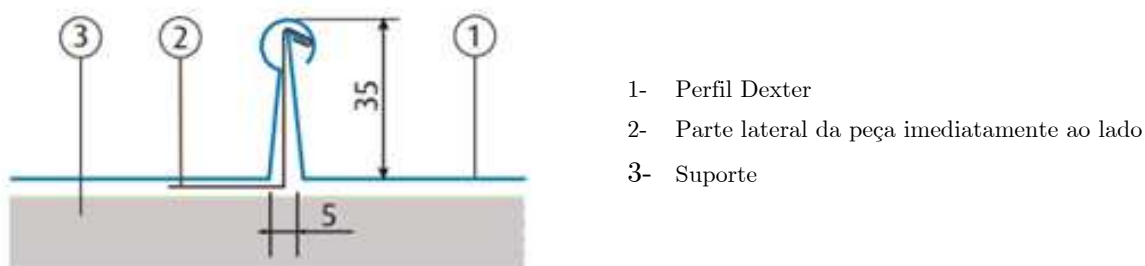


Figura 74 - Pormenor de encaixe do sistema Dexter [6]

Os perfis são perfis retangulares e possuem lados com geometria distinta. Um dos lados é composto por uma quinagem oblíqua, sendo o outro com uma quinagem redonda. São estas diferenças geométricas que vão facilitar o encaixe entre as peças. Na parte inferior da peça possuem umas bandas que posteriormente vão encaixar umas nas outras (ver Figura 75).

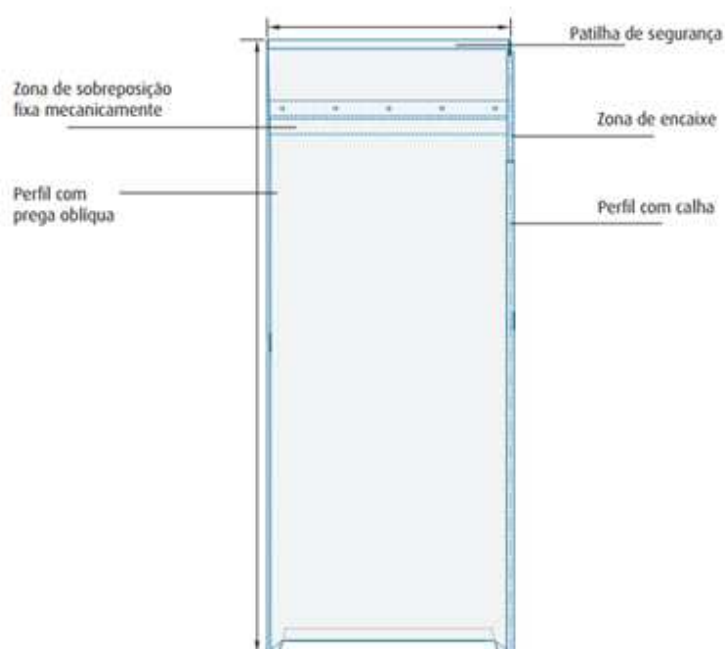


Figura 75 - Paineis "Dexter" [6]

Os suportes possíveis são os painéis derivados de madeira e outros suportes de madeira, devendo ter-se o cuidado de caso se tratem de madeiras não compatíveis utilizar-se a membrana em PEAD. Ao nível da ventilação, apesar de se tratar de um tipo de fachada não ventilada, deve ser providenciada uma caixa-de-ar de 20mm de espessura entre o suporte estrutural e o suporte dos perfis de zinco, para além de aberturas na parte superior e inferior [7].

Este é um sistema simples no que respeita à sua instalação. A aplicação das peças deve ser no sentido ascendente, ou seja, colocadas de baixo para cima e da direita para a esquerda [7].

A instalação deve começar com a colocação do perfil no local a aplicar e deve ser imediatamente fixo na parte de cima através de uma presilha colocada na dobra de segurança (Figura 76, imagem 1). De seguida ou procede-se à colocação da presilha lateral ou ao encaixe entre a peça já fixada à peça seguinte (Figura 76, imagens 2 e 3). As presilhas laterais podem ser colocadas após colocada toda a linha vertical. Estas presilhas são fixas no lado da quinagem oblíqua. Depois de fixas basta engatar o lado da quinagem oblíqua ao lado da quinagem redonda (Figura 76, imagem 4) [7].

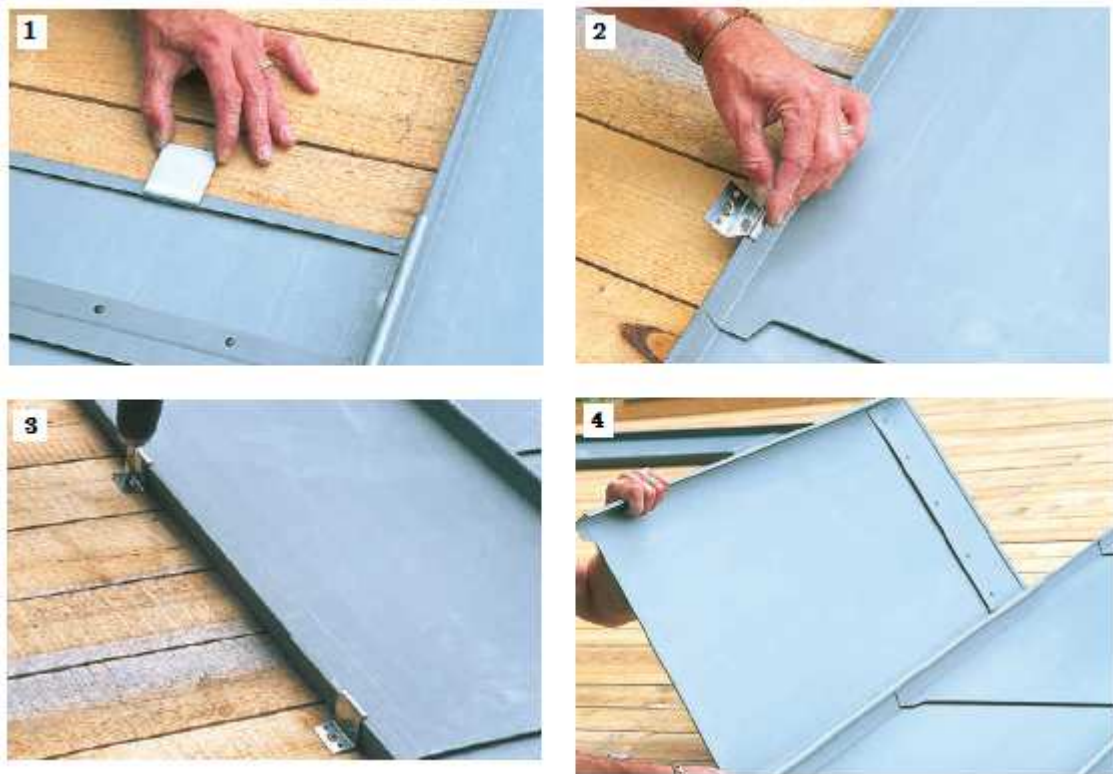


Figura 76 - Colocação das presilhas e sua fixação ao suporte e encaixe dos painéis laterais [6]

O encaixe vertical entre os painéis deve ser realizado conforme mostra na Figura 77.

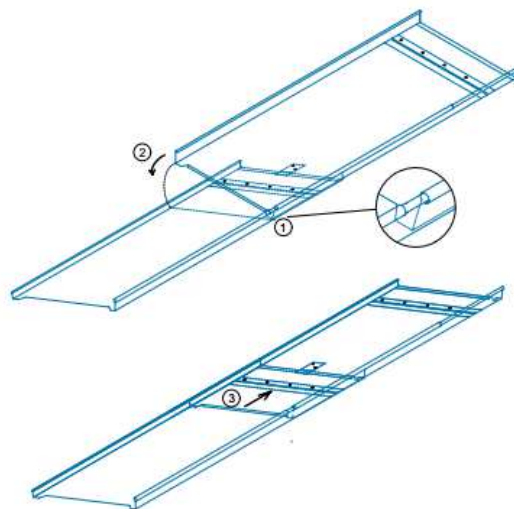


Figura 77 - Encaixe das peças “Dexter” [6]

5.1.8 Sistema com elementos pré-fabricados

5.1.8.1 Losangos

O sistema de losangos é um sistema de revestimento de fachada em pequenos elementos pré-fabricados com formato de losango, tal como o próprio nome indica. Este tipo de solução de fachada é para fachada não ventilada.

Os suportes que podem ser utilizados são a madeira ou painéis derivados de madeira compatíveis com o zinco. As peças possuem quatro arestas, duas arestas superiores têm uma beira voltada para o exterior e as outras duas têm uma beira voltada para o interior da peça. As peças vão-se ligar entre si por sobreposição [6].

A sua fixação pode variar de empresa para empresa, sendo que existem dois tipos de fixação possíveis. De acordo com a marca “Vmzinc”, a instalação deve ser realizada com um único ponto de fixação (Figura 78), sendo a peça fixada com parafuso em aço inox [6].

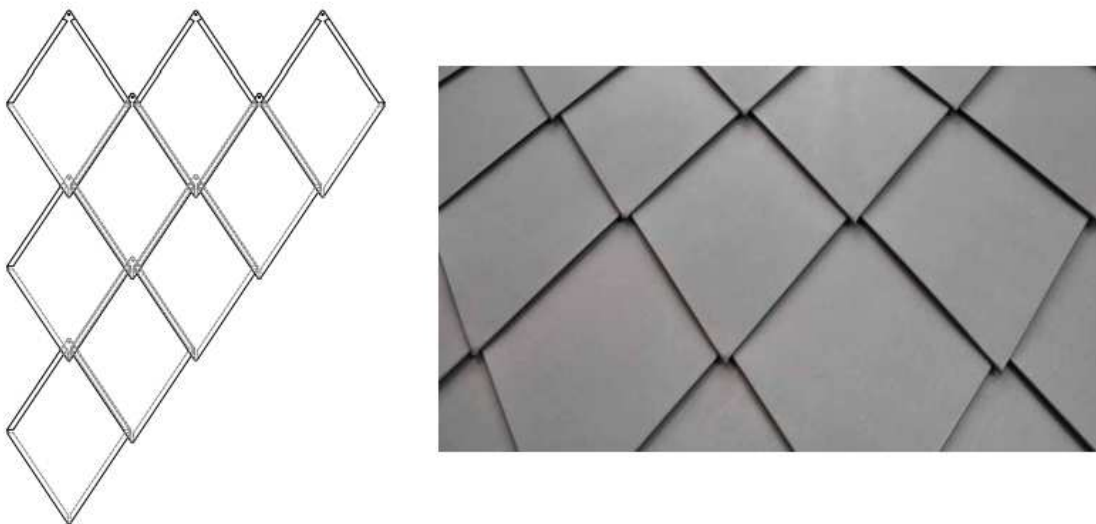


Figura 78 - Sistema de fixação da “Vmzinc” [6]

A empresa “Rheinzinc”, utiliza dois pontos de fixação, estando eles localizados, de acordo com a Figura 79, nas beiras voltadas para o exterior. Nessas beiras são colocadas presilhas, uma de cada lado, que se vão fixar através de parafusos ao suporte escolhido.

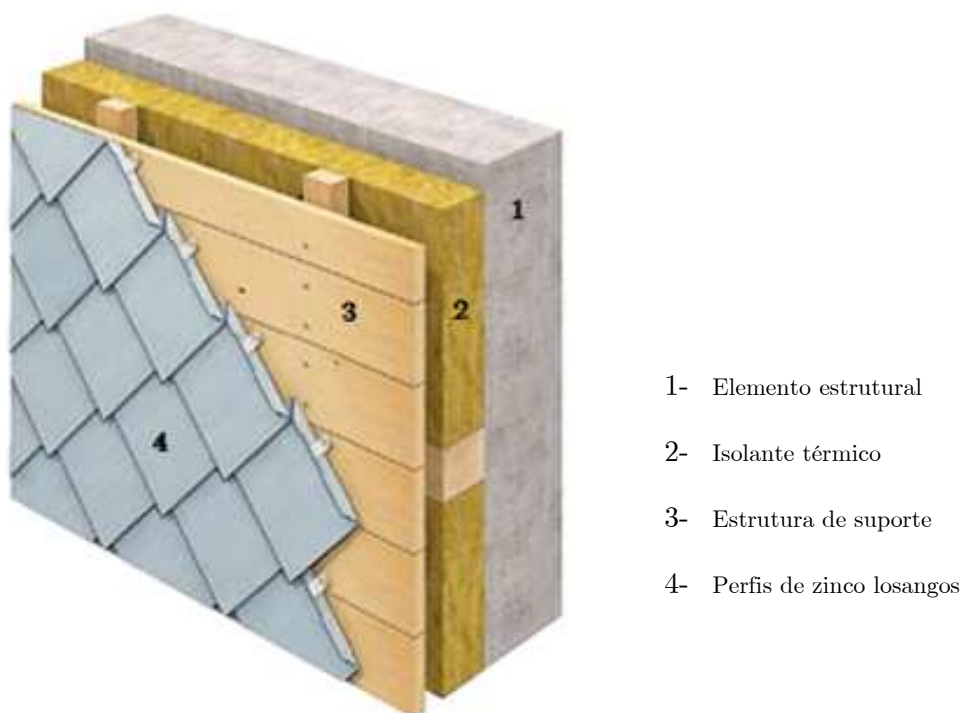


Figura 79 - Sistema de fixação da “Rheinzinc” [73]

5.1.8.2 Soletos

Tal como acontece no caso dos losangos, este é também um sistema de revestimento em que são utilizados pequenos elementos para revestir a fachada de um edifício. Este tipo de solução de fachada à semelhança do anterior, é utilizado em fachadas não ventiladas.

Em termos estéticos, este sistema assemelha-se a peças de ardósia, que era muito utilizada, dando um aspeto tradicional ao edifício.

Este sistema pode ser aplicado em suportes como a madeira ou painéis derivados de madeira compatíveis com o zinco. A sua instalação é realizada por sobreposição, com dois pontos de fixação por peça (Figura 80) e começa-se de baixo para cima [6].

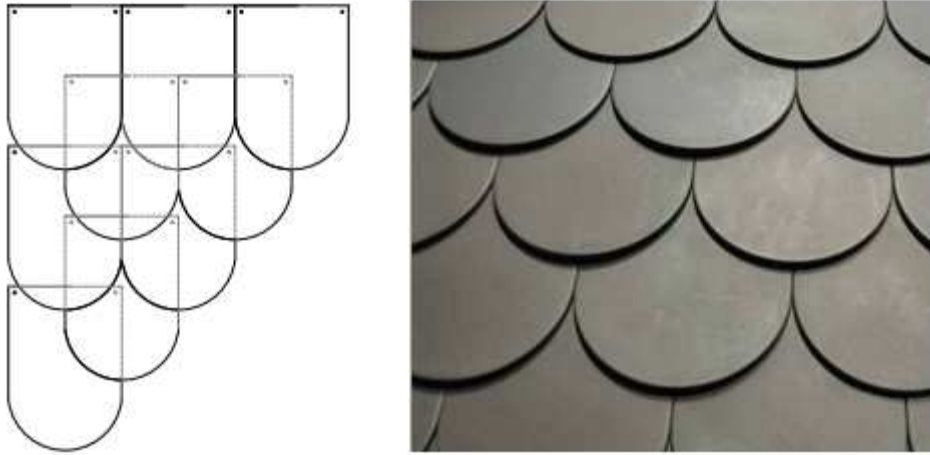


Figura 80 - Sistema de fixação dos soletos [6]

5.1.8.3 “Adeka”

O sistema “Adeka”, marca registrada “Vmzinc”, é também um sistema composto por pequenas peças pré-fabricadas em zinco. Na Figura 81 pode-se observar um edifício cuja fachada é revestida por painéis de zinco com este tipo de solução.



Figura 81 - Edifício revestido com elementos “Adeka” [7]

Estes elementos são de simples fixação, utilizando para isso apenas três parafusos, sendo que a fixação da parte inferior é realizada pela inserção da presilha de fixação por baixo dos elementos da fiada inferior [6]. A sua instalação é realizada de baixo para cima. A

figura seguinte ilustra o esquema de montagem destas peças e os respetivos componentes necessários à sua instalação.

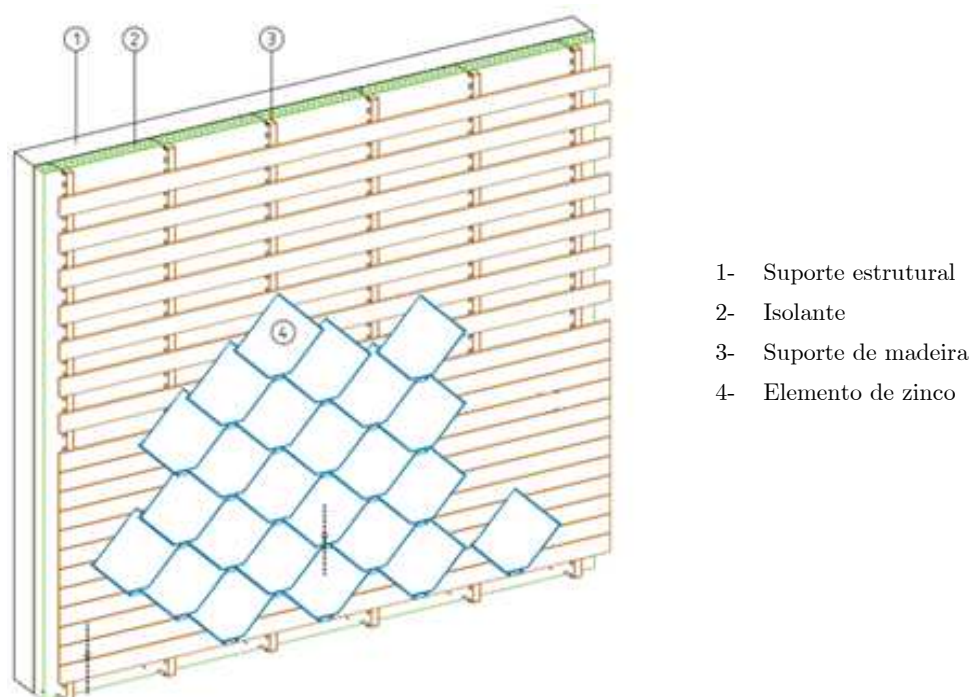


Figura 82 - Esquema ilustrativo do sistema “Adeka” [6]

Em fachadas estes elementos em forma de diamante são geralmente aplicados até alturas de aproximadamente 20m [6].

Os elementos apresentam características particulares, sendo que eles apresentam elevada resistência ao longo do tempo às possíveis infiltrações, oferecendo uma estanquidade completa devido à sobreposição de 5cm entre elementos. Uma outra propriedade destas peças é possuírem uma base de poliestireno fixo na parte interior do elemento. Este material vai assegurar a rigidez dos elementos de zinco após a sua instalação e vai também contribuir para o isolamento térmico [6]. A composição destes pequenos elementos pode ser visualizada na Figura 83.



Figura 83 – Vistas do elemento em zinco [6]

O suporte utilizado pode ser um ripado em madeira maciça ou em painéis derivados de madeira. A ventilação é garantida por uma câmara-de-ar mínima de 3cm entre o suporte estrutural e o suporte intermédio onde se vão fixar os elementos e é necessário que haja uma entrada de ar na parte inferior e uma saída na parte superior [6].



Figura 84 - Esquema de instalação [6]

Para a sua instalação começa-se por introduzir-se a presilha de fixação, seguida por dobragem nos espaços previstos para o efeito nos elementos interiores (Figura 84). Depois basta aparafusar as peças ao suporte pelos orifícios previstos.

5.1.9 “Mozaik”

O “Mozaik” é um sistema de cassetes modulares para revestimento de fachadas ventiladas em zinco, exclusivo da marca “Vinzinc”. Na Figura 85 ilustra-se o exemplo de um edifício revestido por este tipo de sistema de cassetes.



Figura 85 - Fachada de edifício revestido com cassetes do tipo “Mosaik” [6]

É um sistema constituído por módulos pré-fabricados, de forma quadrada ou retangular, ajustando-se por auto-encaixe. Estes possuem dobras perfeitas, e oferecem uma continuidade das juntas e uma união invisível. Esta solução pode ser aplicada tanto em exteriores como em ambientes interiores. O “Mozaik” tem uma característica que a difere de todos os outros sistemas e que está relacionada com as juntas. As juntas podem ser desalinhas ou alinhadas consoante a preferência de quem adquirir as peças (Figura 86) [6].



Figura 86 - Tipos de juntas [6]

Este tipo de sistema pode ser aplicado em suporte plano, em alvenaria revestida, em betão ou sobre uma estrutura de suporte metálica. Tal como referido, este é utilizado como revestimento de fachadas ventiladas, sendo esta ventilação feita através de uma lâmina de ar com 2cm de espessura entre a face interior das cassetes de zinco e o isolante, ou em caso da ausência deste, entre o isolante e a parede de alvenaria. A entrada de ar é realizada por um perfil perfurado colocado na base do revestimento e por uma lâmina metálica na junta de dilatação [6].

Em termos de suporte, este sistema é constituído por umas calhas de alumínio que se encontram fixas à estrutura de suporte através de uns esquadros reguláveis. Estes esquadros são adaptados de acordo com a espessura do isolante. As calhas de estrutura podem ser em formato ómega ou em T. A fixação é feita por parafusos auto-roscentes [6].

Figura 87 mostra-nos os componentes constituintes deste tipo de sistema de fachada e um corte horizontal para se visualizar o pormenor da ligação dos painéis à estrutura secundária.

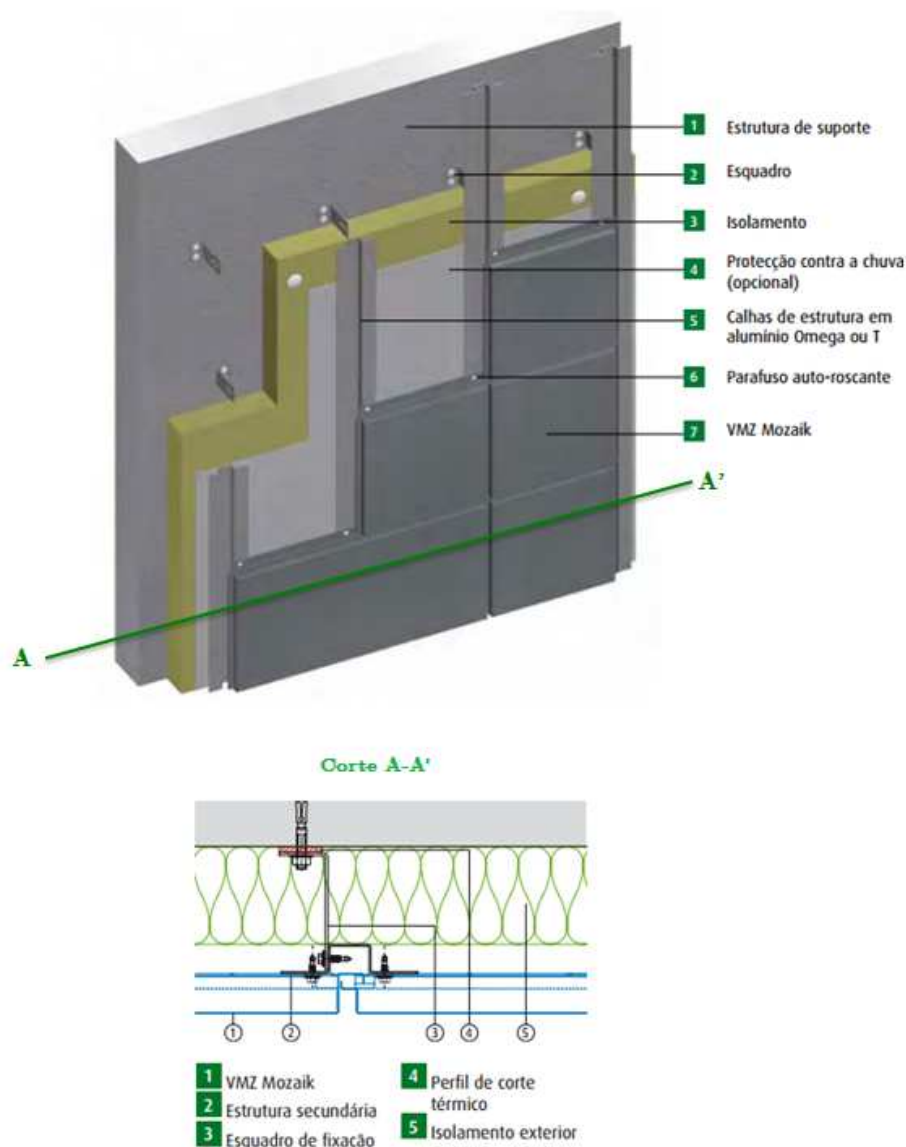


Figura 87 – Esquema ilustrativo do sistema “Mosaik” [6]

Relativamente à instalação, começa-se por fazer a aplicação das calhas e dos esquadros, onde posteriormente será fixada a estrutura em perfil de alumínio (Figura 88, Fase 1). Seguidamente procede-se à colocação do acabamento interior, sendo este composto por dois elementos: um perfil furado para a entrada de ar e por um perfil de base (Figura 88, Fase 2). Depois de montados esses elementos colocam-se as cassetes de zinco horizontalmente, começando de baixo para cima e da esquerda para a direita (Figura 88,

Fase 3). As cassetes são então fixadas sobre o perfil da estrutura com os parafusos auto-roscentes, encaixando uns nos outros [6].



Fase 1- Fixação das calhas e dos esquadros



Fase 2 – Colocação e fixação do acabamento inferior



Fase 3 – Fixação do perfil à estrutura

Figura 88 - Instalação do sistema “Mosaik” [6]

5.2 Suportes

Os suportes ou bases de suportes podem ser de diversos tipos e materiais e são eles que vão ter a função de suportar o sistema de fachada. As bases de suporte devem proporcionar uma superfície regular, ausente de ondulações e concavidades garantindo desta forma o aspeto uniforme da fachada. A escolha do tipo de suporte pode variar consoante o tipo de fachada (ventilada ou não ventilada), o tipo de sistema de fachada escolhido e também de acordo com o estipulado no caderno de encargos do projeto.

5.2.1 Materiais de suporte

Os materiais que se podem utilizar como suporte deste tipo de fachada metálica são diversos. A solução mais padronizada é com suportes em madeira, que se utilizam mais nos países do norte da Europa. Em Portugal não é comum utilizar-se este sistema, adotando-se normalmente como suporte a própria estrutura de betão ou paredes de alvenaria rebocada como suporte, dispensando assim outro qualquer tipo de suporte [34]. Apesar de não ser muito comum, estes tipos de suporte em que se utiliza uma estrutura intermédia, seja ela de madeira ou metal, existem.

As bases de suporte dos sistemas de fachadas podem ser realizadas pelos seguintes materiais:

- Madeira maciça;
- Painéis derivados da madeira;
- Betão;
- Alvenarias;
- Perfis metálicos.

O suporte em madeira maciça pode ser executado com a utilização de ripas, tábuas ou pranchas de madeira tendo cada uma que respeitar dimensões específicas.

A utilização de painéis em contraplacado ou aglomerado de madeira é também uma opção para suporte. Estes derivados da madeira não podem ser apoio direto do zinco, pois estes podem ser compostos por madeiras ácidas ou por colas fenólicas, sendo estes fatores agravantes para a corrosão da parte do tardo do zinco. Entre o zinco e os painéis deve existir uma membrana para evitar a incompatibilização entre estes dois materiais. Relativamente ao sistema de fixação, ele é assegurado por meio de presilhas de fixação. Na Figura 89 podemos ver um exemplo de fixação de uma chapa de zinco a um contraplacado de madeira através de presilhas, com interposição da tela pitonada.



Figura 89 – Pormenor de fixação do painel de zinco em contraplacado de madeira

O mesmo acontece em suportes de betão e de alvenaria. No caso de alvenarias, as presilhas de fixação podem ser fixadas sobre parafusos chumbados na alvenaria ou diretamente na mesma por meio de parafusos e buchas.

Um dos suportes também utilizados em sistemas de fachadas ventiladas são os perfis metálicos. O material mais comum para estes perfis é o aço inox ou galvanizado. A fixação é também realizada por meio de parafusos (ver Figura 90).



Figura 90 - Pormenor de fixação com recurso a perfis metálicos

5.2.2 Incompatibilidade de materiais

Uma vez referidos todos os suportes possíveis e disponíveis no mercado, é agora importante evidenciar a compatibilidade ou incompatibilidade entre eles e o zinco. Estas incompatibilidades podem ser responsáveis pela corrosão química das chapas de zinco. Dentro das madeiras e metais que são utilizados como suporte nem todos são compatíveis com o revestimento zincado, tendo por isso que existir uma seleção criteriosa dos materiais.

5.2.2.1 Madeiras

Um dos possíveis suportes das chapas de zinco é a madeira. Nesta situação é preciso terem em consideração que não devem ser utilizadas madeiras ácidas, ou seja, madeiras que possuam um pH inferior a 5, pois estas apresentam um comportamento corrosivo na

presença de humidade, que acaba por colocar em risco as fixações utilizadas na estrutura [34]. Podemos observar na Figura 91 a aplicação de painéis de zinco sobre uma estrutura de madeira.

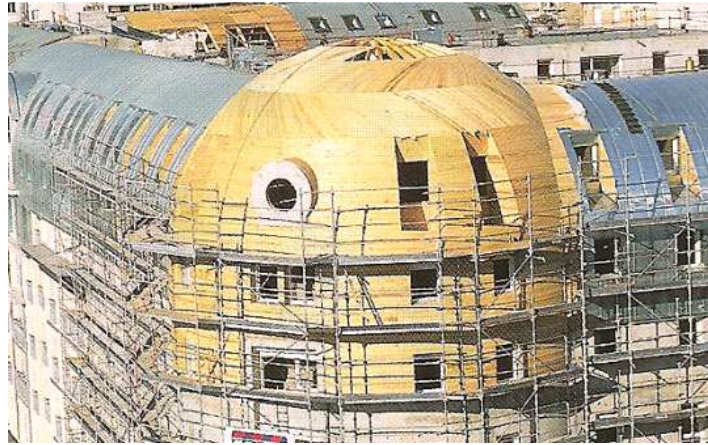


Figura 91 - Aplicação de zinco em suporte de madeira [49]

É comum, por vezes, não ser a própria madeira a colocar em causa a integridade do material de revestimento, mas sim os vernizes, colas, tintas ou outros materiais que fazem parte da constituição das ripas, placas ou aglomerados de madeira. Contudo existem madeiras, em que elas próprias são prejudiciais para o zinco [34]. A Tabela 12 indica alguns exemplos de tipos de madeiras compatíveis e incompatíveis com o zinco.

Tabela 12 – Exemplos de madeiras compatíveis e incompatíveis [76]

Madeira compatível	Madeira incompatível
Abeto	Cedro
Álamo	Castanheiro
Casquinha	Carvalho
	Eucalipto
	Pinho

5.2.2.2 Rebocos e betões

O zinco também não deve ser colocado em contato direto com rebocos, betonilhas e betão, pois quando estes entram em contato com água podem provocar o aparecimento de sais prejudiciais e incompatíveis com o zinco.

Do ponto de vista químico, as condensações que se formam na parte inferior da chapa de zinco, quando em contato com os betões, argamassas e rebocos, originam um meio húmido saturado de iões de cloreto (Cl⁻). Estes iões são provenientes dos pós dos betões, argamassas e rebocos e são responsáveis pela aceleração da degradação do zinco. É por isso importante evitar este tipo de contato.

A Figura 92 ilustra um sistema de fachada aplicado indiretamente sob uma estrutura de betão.

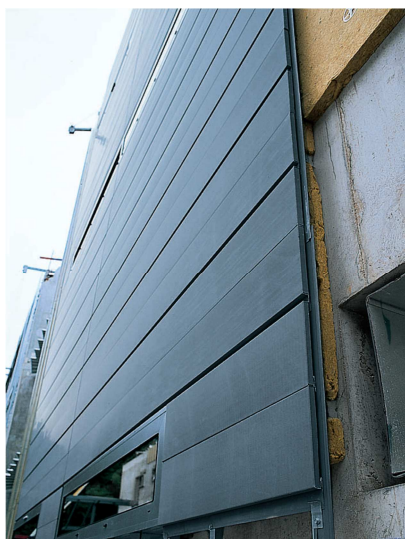


Figura 92 - Aplicação de zinco em suporte de betão [6]

Uma vez que a utilização destes materiais não pode ser evitada, sendo até dos mais tradicionais, existem soluções disponíveis no mercado apropriadas para a contornar esta situação, nomeadamente a interposição de uma membrana pitonada em PEAD entre o suporte e o zinco.

5.2.2.3 Metais

Os contatos entre o zinco e outros metais podem gerar reações químicas, sendo estas provocadas pela diferença de potencial entre as superfícies dos metais em causa, provocando corrosão. Existem portanto metais que podem estar em contato com o zinco e outros em que esse contato não é admissível [76].

O zinco forma com a maioria dos metais, um par galvânico. Define-se par galvânico o conjunto de dois metais distintos que se encontram em contato na presença de um eletrólito [77]. Um eletrólito é uma substância que se dissolve na água originando uma solução eletrolítica, ou seja, uma solução que conduz eletricidade [78].

A diferença de potencial entre os metais vai levar à corrosão do metal com menor potencial. Um dos metais com o qual o contato com o zinco não é admissível é o cobre. Este apresenta um potencial elétrico elevado, provocando a corrosão do zinco se houver contato direto entre os metais e ainda a presença de um eletrólito, podendo este ser água ácida proveniente da água da chuva. A Tabela 13 refere alguns exemplos de metais compatíveis ou não compatíveis com o zinco.

Tabela 13 – Exemplos de metais compatíveis e incompatíveis [5]

Metais compatíveis	Metais incompatíveis
Alumínio	Aço não protegido
Aço Galvanizado	Cobre
Aço Inox	Ferro não protegido
Cobre Estanhado	
Chumbo	

Todos estes materiais que compõem a base de suporte têm um grau de compatibilidade ou não entre eles. De modo a assegurar e controlar os componentes nocivos para o zinco, torna-se indispensável criar uma barreira preventiva entre a face interior da chapa de zinco e a base de suporte.

5.2.3 Tela pitonada

Como se pode verificar são vários os suportes incompatíveis com o zinco, como tal convém que este não fique em contacto direto com o suporte, numa tentativa de serem evitadas possíveis anomalias no revestimento. Este contato pode ser evitado pela colocação de uma membrana de polietileno de alta densidade (PEAD) pitonada (ver Figura 93). Ao longo do trabalho tem-se vindo a referir esta tela, mas só agora é que se vai explicar pormenorizadamente o seu significado, as suas características e a sua funcionalidade.

Esta tela permite que não haja uma colocação direta do zinco sobre suportes incompatíveis, evitando assim um possível ataque do material de suporte ao revestimento zincado.



Figura 93 - Membrana em PEAD [8]

Uma outra particularidade deste filme de PEAD, como já foi referido com maior pormenor na secção 3.6, é o fato de este criar uma micro ventilação na parte inferior do revestimento, importante para que não ocorram condensações.

As principais características da membrana pitonada de polietileno de alta densidade [49]:

- Polietileno de alta densidade, de cor geralmente cinza, variando de acordo com os fabricantes;
- Possui estabilidade dimensional para temperaturas entre -30°C e 80°C ;
- Comercializada em rolos com 2 metros de largura;
- Uma das partes laterais não possui quaisquer nódulos para posterior sobreposição de tela;
- Parte pitonada voltada para a chapa de zinco;
- Espessura da membrana é de 0,60 mm e nódulos de 8,6mm de altura, afastados entre si de 19,5mm (ver Figura 94).

Na Figura 94 e Figura 95 apresentam-se as dimensões dos nódulos constituintes da tela e o modo de fixação da mesma através da utilização de presilhas.

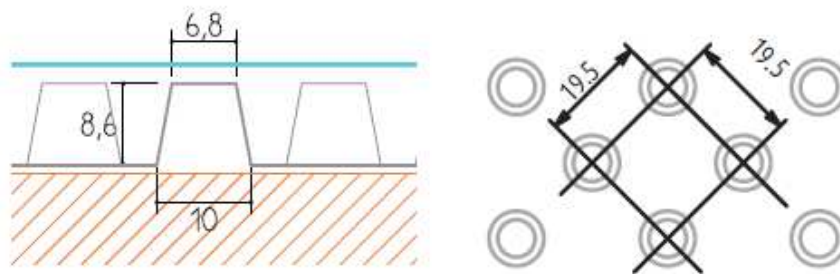


Figura 94 - Dimensões dos nódulos [8]

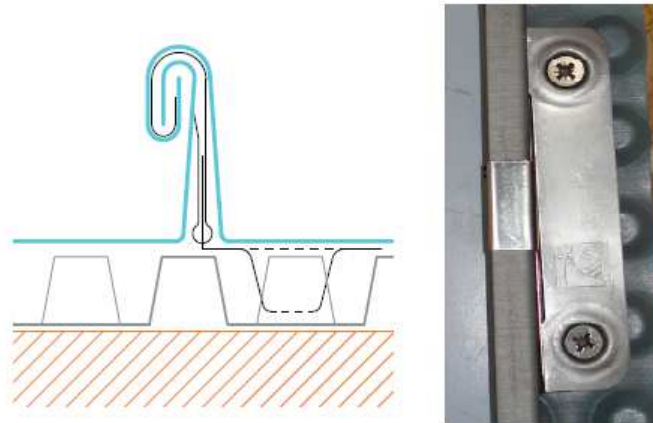


Figura 95 - Sistema de fixação por presilha [8]

A fixação da membrana pode ser realizada usando apenas parafusos, fixando-a desse modo à estrutura.

5.3 Patologias e suas causas

Quando se fala de patologias, refere-se a algo que se desvia do comum, do que é normal. Pode-se definir patologia como sendo um defeito, que pode vir a prejudicar o desempenho esperado de partes do edifício, neste caso concreto, das fachadas.

As anomalias que podem surgir nas chapas de zinco estão relacionadas e podem surgir em determinadas fases, nomeadamente:

- No processo de fabrico;
- No modo como se realiza o transporte e a armazenagem;
- No modo como se procede à aplicação em obra, tendo que ser realizada por trabalhadores especializados e com formação adequada;
- Ao longo da vida útil do edifício.

Por vezes, certas anomalias encontradas no zinco são negativas apenas no sentido estético, não influenciando o seu desempenho. Um exemplo prático disso é o caso das manchas que

surtem na superfície do zinco provenientes do fato de o edifício em questão se encontrar localizado em ambientes marítimos agressivos.

Assim, as principais patologias observadas nas chapas de zinco são:

- Orifícios;
- Fissuras;
- Empenamento da chapa;
- Manchas.

5.3.1 Orifícios

Uma incompatibilidade dos perfis de zinco com o seu suporte ou base de suporte podem provocar o aparecimento de picotado, ou seja, de pequenos orifícios na chapa (Figura 96). Esta manifestação pode ser evitada desde que se tenha em atenção a compatibilização do suporte e seja colocada uma membrana entre o suporte e a chapa de zinco. Além da incompatibilidade esta patologia pode ter origem na fraca ventilação e no excesso de humidade. No caso de existir uma fraca ventilação entre a chapa de zinco e o respetivo suporte podem ocorrer condensações internas na face interior da peça de zinco. Essa condensação pode provocar a diluição de algum componente do suporte que possa ser incompatível com o zinco. Para evitar este problema deve-se sempre garantir, por mais pequena que seja, uma lâmina de ar entre a base de suporte e o zinco. Para que isso seja possível mesmo adotando um sistema de fachada não ventilada, deve-se colocar uma membrana entre eles, garantindo deste modo um efeito de micro ventilação. Esta patologia pode, a longo prazo, provocar a rotura da chapa de zinco.



Figura 96 - Orifícios na chapa de zinco

Existe ainda um outro tipo de orifício, provocado por ataque acidental de ácidos, dando origem a um orifício de maiores dimensões (Figura 97). Esta patologia pode também ter como consequência a rotura da peça.



Figura 97 - Orifício provocado pelo ataque químico de ácidos

5.3.2 Fissuras

As fissuras são outro grupo de patologias que podem surgir nas chapas de zinco. Estas podem ser provenientes da fricção das presilhas e dos parafusos na chapa, sendo que o fato de a chapa não se poder movimentar pode igualmente causar a fissuração, levando mesmo à sua rotura. Na Figura 98 ilustra-se uma fissura na chapa de zinco.



Figura 98 - Fissura na chapa

Um outro tipo de fissuras são as que são realizadas durante o processo de quinagem, que pode acontecer, quer em fábrica, quer em obra (Figura 99). Estas fissuras podem ser causadas pela adoção de um raio de quinagem inferior ao recomendado e também pela quinagem realizada a baixas temperaturas, provocando assim a rotura das peças.

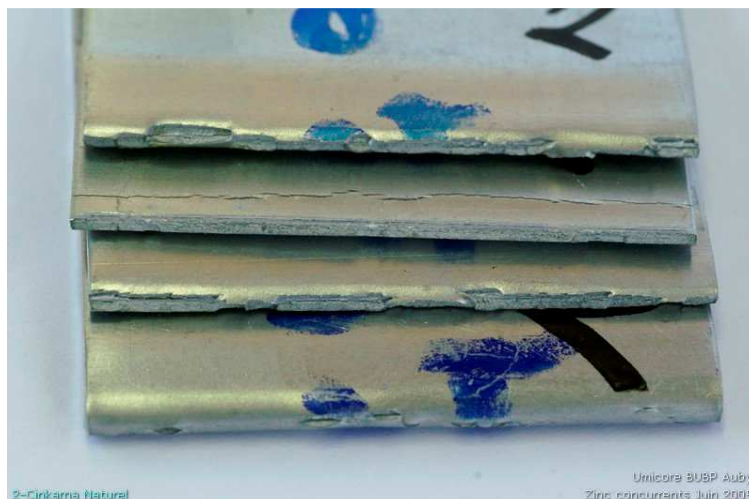


Figura 99 - Fissura provocada por quinagem

5.3.3 Empenamento

O empenamento nas chapas de zinco, é uma patologia que pode ter várias origens. Uma delas é a espessura da chapa aplicada, ou seja, quanto menor for a espessura do perfil, maiores são as probabilidades desta empenar (ver Figura 100).

Um outro fator que poderá causar o empenamento são os movimentos presos, isto é, o impedimento da livre dilatação da chapa. Quando a chapa necessita de dilatar e se encontra presa, o perfil tenta combater esse impedimento levando ao empenamento da própria chapa, podendo mesmo levar à rotura por fadiga da mesma. Além da rotura, este tipo de patologia acarreta um aspeto inestético inerente.



Figura 100 - Empenamento da chapa de zinco

5.3.4 Manchas

Por vezes na superfície do zinco podem surgir manchas brancas ou negras (Figura 101). Estas têm como origem a chuva ácida. Esta patologia levanta questões apenas de origem estritamente estética, uma vez que não vai ter qualquer influência no desempenho do material. Esta patologia é mais comum em coberturas, mas também pode ocorrer em fachadas.



Figura 101 - Manchas brancas provocadas por chuvas ácidas

Podem surgir ainda manchas brancas sob o zinco, sendo estas originadas não pela chuva ácida, mas pela estagnação da água no zinco, levando à formação de óxido de zinco. Poder-se-ia pensar que uma vez que quando se refere a fachadas se está a falar de um elemento vertical, sendo impossível uma estagnação. Ao contrário do que se pensa, isto pode ocorrer. Não se pode esquecer do fato de existirem juntas entre as peças, e quando são juntas horizontais, pode ocorrer uma possível estagnação de água nessa zona, podendo então causar manchas (Figura 102).



Figura 102 - Possível local de estagnação de água

Continuando no tema de manchas de coloração branca, surgem ainda mais dois tipos, sendo estas as provenientes da contaminação por cimento, estuque, ou até mesmo tinta durante a fase de construção e as manchas provocadas pela contaminação oriunda do vento proveniente do mar.

Durante a fase de obra as peças de zinco devem-se encontrar recobertas com a película que já vem de fábrica, assim consegue-se evitar a contaminação da peça de zinco com materiais de acabamento, como estuque e tintas. Esta contaminação trás consequências puramente estéticas, desde que não sejam excedidas determinadas concentrações de certos componentes químicos (Ca, SO₄, Si, K < 0,1%), caso contrário a chapa pode sofrer danos. A Figura 103 mostra o exemplo de uma cobertura em zinco coberta por manchas de cor branca devido à contaminação com materiais de construção.



Figura 103 - Manchas provocadas pela contaminação da chapa de zinco

Outros tipos de manchas são as provenientes da contaminação com o sal ou maresia do meio ambiente (Figura 104). Edifícios revestidos a zinco que se encontrem em locais junto ao mar, ou seja, em ambientes marítimos agressivos, são propensos a este tipo de contaminação. Além das manchas podem surgir também crostas à superfície devido a depósito de sal. Trata-se de um problema de origem mais estética do que técnica, embora possa em alguns casos ocorrer corrosão, superficial ou profunda, caso ocorra o crescimento do depósito de sal.



Figura 104 - Manchas provocadas pela contaminação com sal

5.4 Vantagens e limitações da aplicação do zinco laminado em fachadas

Apesar de já terem sido referidas algumas vantagens deste material na construção civil (secção 2.4), neste ponto vai-se abordar o caso concreto do zinco em fachadas de edifícios. São muitos os aspetos que tornam o zinco num material, hoje preferencialmente escolhido por parte dos arquitetos e engenheiros. Mas o zinco não é um material somente vantajoso, ele também tem limitações adjacentes. Na Tabela 14 são apresentadas as vantagens e as limitações do zinco laminado como revestimento de fachadas

Tabela 14 - Vantagens e limitações do revestimento em zinco

Vantagens	Limitações
Anti-corrosivo	Pode apresentar temperaturas extremas (negativas e positivas)
Elevada durabilidade	Pode causar problemas a níveis de ruído
Esteticamente agradável	Exige mão-de-obra especializada
Impermeável à água (não é estanque)	Não pode ser trabalhado a temperatura ambiente inferior a 7°C
Material leve e maleável	
Manutenção muito reduzida, quase nula	

É certo que as vantagens deste tipo de revestimento metálico são o que o tornam o zinco numa boa opção para revestir exteriormente um edifício, apesar de uma delas indicada ser subjetiva e de se encontrar ao gosto e ao critério de cada indivíduo. Ao contrário da estética, a elevada durabilidade do material, dependendo do ambiente em que está inserida, e manutenção reduzida, quando comparado a outros materiais alternativos, tornam-no num material económico a longo prazo, apesar de ser um material relativamente caro.

No entanto as limitações também são um fator importante a ter em conta na escolha, e há que contrabalançar com as vantagens inerentes.

Como se referiu, o zinco é um material que possui elevado coeficiente de dilatação térmica, e conseqüentemente pode adquirir temperaturas extremas, dependendo do país onde se encontra o edifício em questão. De acordo com o país e com as variações de amplitudes térmicas do mesmo, uma chapa de zinco pode ter temperaturas da gama dos $+90^{\circ}\text{C}$ mas também pode ter temperaturas como -15°C . O edifício deve possuir um isolamento térmico que garanta que a temperatura do interior da habitação não sofra alterações consoante a temperatura do zinco. Uma das soluções que se pode adotar é colocar isolamento pelo exterior onde se opta, ao contrário do que é utilizado em situações regulares em que se utiliza poliestireno expandido (EPS), por poliestireno extrudido (XPS) (ver Figura 105).

Note-se, no entanto, que uma vez que a chapa de zinco possui uma inércia térmica muito fraca, a chapa não tem tendência a conservar o calor, por isso em certas horas do dia ela aquece muito, mas também tem a capacidade de dissipar o calor rapidamente. Um outro fator que contribui para o arrefecimento do edifício é a ventilação.



Figura 105 - Exemplo de fachada em zinco com revestimento pelo exterior

Apesar do XPS ser um bom isolante térmico, ele não é considerado um bom isolante acústico. O isolamento acústico de um edifício deve ser projetado e executado criteriosamente, pois ele vai evitar a passagem de ruído entre ambientes diversos.

No caso do zinco, como em qualquer outro metal, basta algo bater contra o mesmo que gera logo ruído indesejável. Este fator apesar de ser importante é muitas vezes negligenciado por parte de quem projeta, mas é um fator importante para os futuros habitantes. Pode-se falar por exemplo, num dia em que haja muita chuva, o barulho que esta faz ao bater na chapa de zinco chega a ser desesperante, de acordo com os relatos dos moradores de uma habitação multifamiliar totalmente revestida a zinco.

A Figura 106 ilustra um edifício multifamiliar totalmente revestido a zinco.



Figura 106 – Edifício multifamiliar totalmente revestido a zinco (Complexo residencial “The Whale” em Amesterdão)

Uma das soluções a adotar seria a aplicação de um material com excelentes propriedades acústicas. Um dos materiais possíveis seria a cortiça, mas esta teria que ser colocada entre a membrana de PEAD e o suporte, uma vez que é incompatível com o zinco. Esta solução foi adotada na década de 90, em diversos países em que utilizou aglomerado negro de

cortiça sob a chapa de zinco, mas esta opção deixou de ser utilizada depois de o zinco se ter degradado completamente, tendo que ser substituído na sua totalidade. É de referir que nesta altura ainda não se utilizava a tela, caso contrário a cortiça não teria degradado o zinco. Em alternativa pode-se aplicar também uma membrana com propriedades acústicas, do tipo Danosa.

As desvantagens inerentes a este tipo de fachada estão basicamente relacionadas com o modo de aplicação dos sistemas de fachada. Caso haja uma má aplicação do sistema, pode haver consequências negativas, sendo por isso necessária uma mão-de-obra especializada. Obviamente que uma mão-de-obra especializada acarreta maiores custos em termos de pessoal, mas evita gastar menos para reparar futuras anomalias. A mão-de-obra especializada representa aproximadamente 1/3 do custo da obra de revestimento em zinco, mas caso se trate de obras mais especiais, como no caso de ter ornamentos, o custo pode ser superior.

Uma outra desvantagem a aplicação do zinco é o fato de este só poder ser trabalhado a temperatura ambiente superior a 7°C, caso contrário se o esforçarmos a temperaturas muito baixas ele corre o risco de fissurar. Uma das possíveis opções para ultrapassar este entrave é, no caso de se estar a trabalhar num país com temperaturas muito reduzidas, o zinco ser trabalhado em fábrica, com temperaturas controladas, de modo a vir pronto a aplicar em obra.

6. Estudo de um sistema de fachada de um edifício de habitação

6.1 Objetivos

Este capítulo tem como objetivo o estudo de uma situação real de um edifício cujo revestimento exterior é revestido completamente por painéis de zinco laminado.

Vão ser desenvolvidos aspetos como a arquitetura do edifício, a constituição das paredes exteriores e o estudo do comportamento térmico e acústico das paredes exteriores. Um outro aspeto que será referido e talvez o mais importante é o tipo de sistema de fachada escolhido e a sua execução.

6.2 Descrição e localização do edifício

O edifício Rosário está localizado no centro da cidade de Gondomar, na freguesia de S.Cosme, distrito do Porto. O edifício foi projetado pelo gabinete de arquitetura, Albertina Oliveira e sendo os construtores e donos de obra, a empresa familiar J. Martins de Oliveira & Filhos Lda. Esta obra foi o primeiro edifício multifamiliar revestido a zinco na cidade Gondomar (ver Figura 107).



Figura 107 - Vista geral do edifício Rosário

O Edifício Rosário tem paredes exteriores voltadas em quatro orientações (Noroeste, Nordeste, Sudoeste e Sudeste), estando a fachada principal orientada a Sudoeste. A Figura 108 ilustra-nos as vistas aéreas do local de implantação, antes e depois da obra.



a) Sem edificação (2008)



b) Com edificação (2012)

Figura 108 - Vista aérea do local de implantação Fonte: Google Earth

6.3 Arquitetura

O edifício multifamiliar é composto por 30 frações autónomas, com tipologias T3 e T4, por uma zona comercial situada no rés-do-chão e por uma cave para estacionamento. Possui 5 pisos destinados a habitação, 1 piso para comércio e 1 piso destinado a garagens. O código das frações autónomas do edifício está de acordo com o representado na Tabela 15.

Tabela 15 - Frações autónomas do edifício

Piso	Frações autónomas (tipologia)					
5º	Z1 (T4)	Z2 (T3)	Z3 (T3)	Z4 (T3)	Z5 (T3)	Z6 (T3)
4º	Z13 (T4)	Z16 (T3)	Z19 (T3)	Z22 (T3)	Z25 (T3)	Z28 (T3)
3º	Z14 (T4)	Z17 (T3)	Z20 (T3)	Z23 (T3)	Z26 (T3)	Z29 (T3)
2º	Z15 (T4)	Z18 (T3)	Z21 (T3)	Z24 (T3)	Z27(T3)	Z30 (T3)
1º	Z7 (T4)	Z8 (T3)	Z9 (T3)	Z10 (T3)	Z11 (T3)	Z12 (T3)
R/C	Zona de lojas					
Cave	Garagens					

Na Figura 109 é apresentada a planta de arquitetura do piso tipo do edifício.



Figura 109 - Planta de arquitetura do piso tipo

Esta obra teve início no ano de 2007. Foram várias as interrupções ao longo de todo o tempo de construção, ficando a primeira fase finalizada em 2012. À presente data cerca de 1/3 do edifício já se encontra habitado e grande parte das lojas já estão em funcionamento.

6.4 Fachadas

A solução inicialmente proposta para as fachadas foi sujeita a alterações de modo a melhorar a classificação energética do edifício. Na solução inicial todas as paredes exteriores do edifício eram idênticas, mas na solução executada optou-se por dois tipos de paramentos verticais exteriores distintos.

A parede exterior da fachada principal do edifício, voltada a Sudoeste (ver Figura 109), vai ter uma constituição diferente das restantes fachadas, uma vez que não necessita cumprir requisitos térmicos tão exigentes, pelo fato de serem maioritariamente varandas e lavandarias

A – Solução Inicial

Numa fase inicial do projeto, as paredes exteriores eram constituídas por parede dupla de alvenaria de tijolo furado, com uma caixa-de-ar e com isolante térmico na camada intermédia. Na Tabela 16 está descrita a composição e um pormenor construtivo da parede.

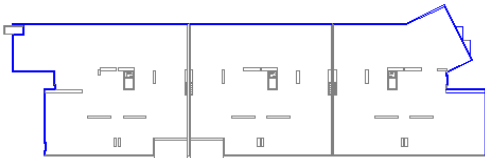
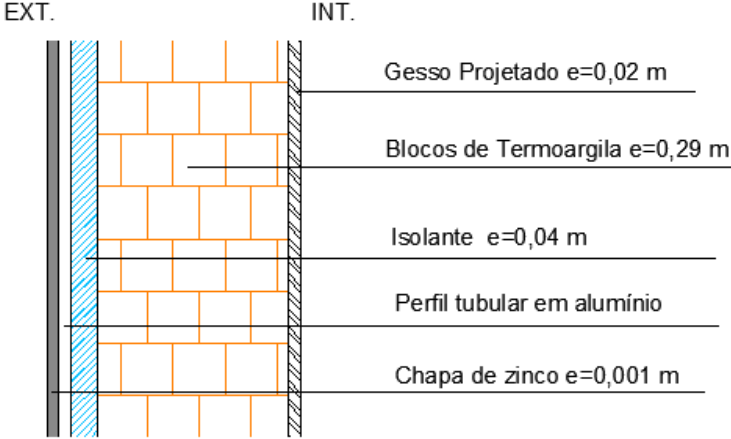
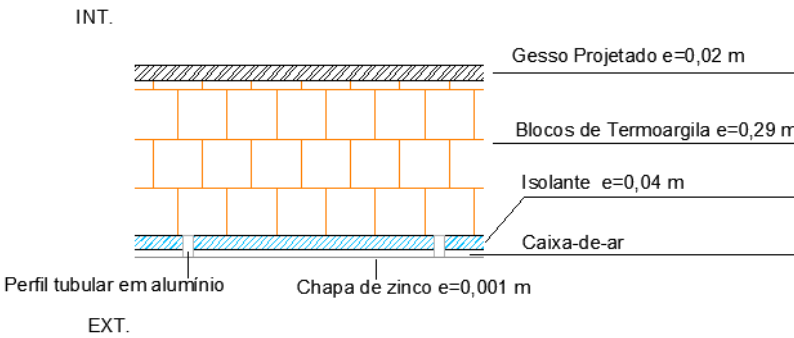
Tabela 16 - Solução inicial da parede exterior

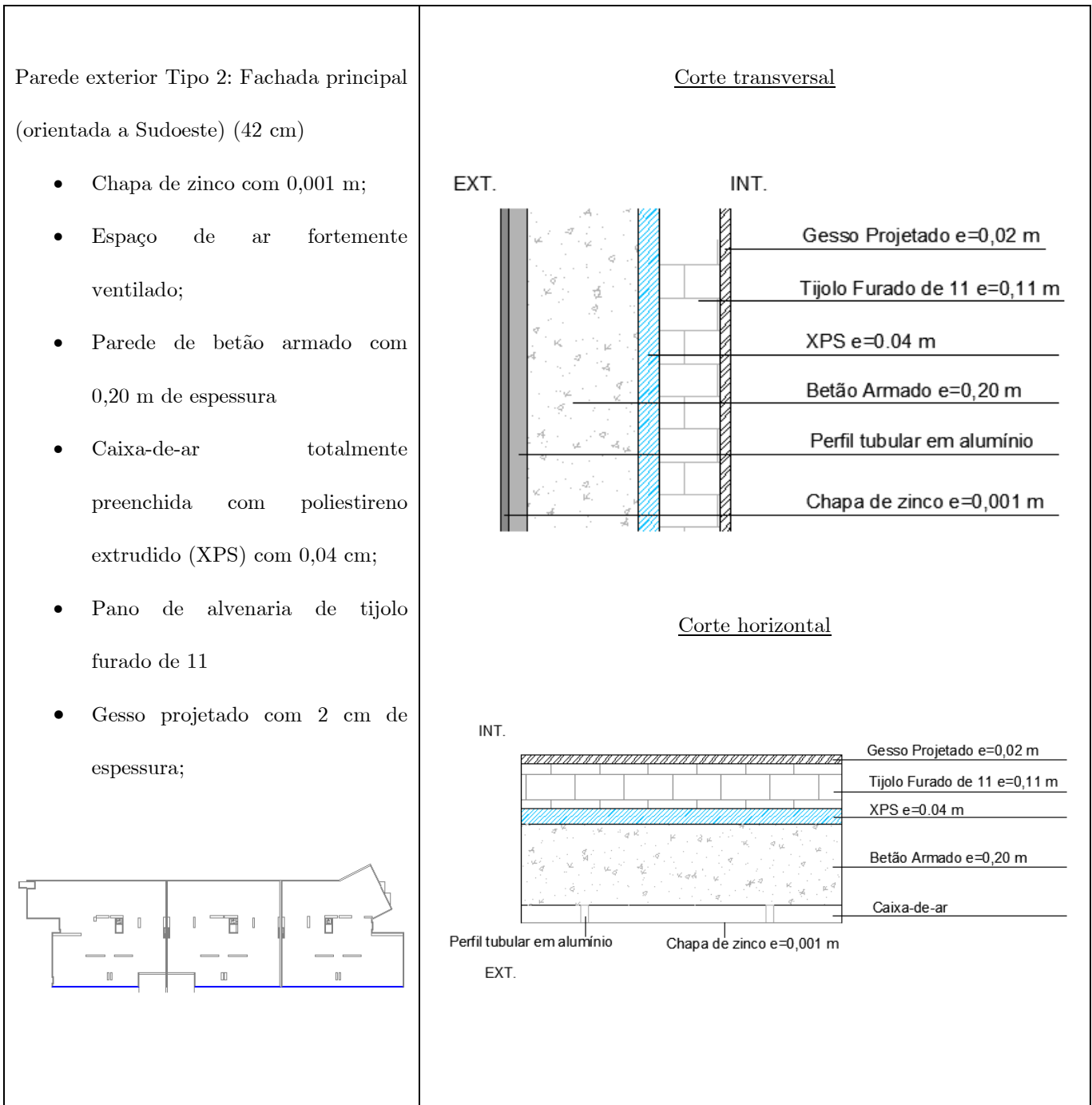
<ul style="list-style-type: none"> • Reboco com 1,5 cm de espessura pelo exterior; • Pano de alvenaria de tijolo furado de 15 cm; • Caixa-de-ar com 2 cm de espessura; • Poliestireno extrudido com 3 cm de espessura; • Pano de alvenaria de tijolo furado de 11 cm; • Reboco com 1,5 cm no interior; 	<p>Diagrama de corte de uma parede exterior com detalhes de construção. O diagrama mostra a seção transversal da parede, com o exterior rotulado como 'EXT.' e o interior como 'INT.'. A parede é composta por várias camadas: uma camada externa de reboco (1,5 cm), um primeiro bloco de tijolo furado (11 cm), uma camada de isolante (do tipo Wallmate CW) (3 cm), uma caixa-de-ar (2 cm), um segundo bloco de tijolo furado (15 cm) e uma camada interna de reboco (2 cm). A parede é sustentada por uma viga ('VIGA') e uma laje ('LAJE').</p>
--	--

B – Solução Executada

A solução executada visava a existência de dois tipos de paredes exteriores distintas. Na Tabela 17 apresenta-se a composição e os pormenores construtivos de ambas as soluções.

Tabela 17 - Solução executada da parede exterior

<p>Parede exterior Tipo 1: Fachadas orientadas a Noroeste, Nordeste e Sudeste (40 cm)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Chapa de zinco com 0,001 m; • Espaço de ar fortemente ventilado; • Poliestireno extrudido (XPS) com 0,04 cm; • Pano de alvenaria de blocos de termoargila com 0,29 cm; • Gesso projetado com 2 cm de espessura; 	<p style="text-align: center;"><u>Corte transversal</u></p>  <p style="text-align: center;"><u>Corte longitudinal</u></p> 
---	---



6.5 Análise do desempenho térmico da fachada

Cada elemento do edifício possui um determinado coeficiente de transmissão térmica variando de acordo com a respetiva constituição do mesmo. De acordo com o Decreto-Lei nº 80/2006, o Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios, o coeficiente de transmissão térmica de um elemento da envolvente é definido como sendo a

quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa [49].

Para o cálculo deste coeficiente U são necessários os valores da condutibilidade térmica dos materiais ou as resistências térmicas dos mesmos, as resistências térmicas superficiais e as espessuras dos materiais constituintes do elemento, sendo que neste caso, apenas serão estudadas as paredes exteriores do prédio. O cálculo do valor do coeficiente de transmissão térmica é dado pela seguinte fórmula:

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{\sum R_t} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se}} \quad (3)$$

Os valores da condutibilidade térmica, das resistências e das resistências térmicas superficiais (R_{si} e R_{se}) são retirados do ITE-50, Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios [80].

Neste estudo pretende-se comparar os valores dos coeficientes U da solução inicialmente proposta com os da solução executada.

6.5.1 Solução inicial

Na Tabela 18 apresentam-se os valores da condutibilidade térmica e das resistências dos diversos materiais constituintes das paredes exteriores.

Tabela 18 - Valores da condutibilidade térmica e das resistências térmicas dos constituintes da parede exterior da solução inicial

Composição	Condutibilidade térmica λ_i (W/m.°C)	Resistência térmica R_{t_i} (m ² .°C/W)	Referências
Reboco com 1,5 cm em ambos os lados	1,3	-	Quadro I.2 do RCCTE
Pano de alvenaria de tijolo furado de 15 cm	-	0,39	Quadro I.5 do RCCTE
Caixa-de-ar com 2 cm	-	0,17	Quadro I.4 do RCCTE
Poliestireno extrudido XPS com 3 cm	0,035	-	Valor de fabricante (Wallmate da “Sotecnisol”)
Alvenaria de tijolo furado de 11 cm	-	0,27	Quadro I.5 do RCCTE
Resistência térmicas superficiais (Quadro I.3 do RCCTE)		$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$	$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$

Por aplicação da expressão 3, o cálculo da resistência térmica R_t e do coeficiente U é dado por:

$$R_t = R_{se} + 2 \times \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_t \text{ alvenaria } 15 + R_t \text{ cx ar} + \frac{e_{Wallmate}}{\lambda_{Wallmate}} + R_t \text{ alvenaria } 11 + R_{si}$$

$$R_t = 0,04 + 2 \times \frac{0,015}{1,3} + 0,39 + 0,17 + \frac{0,03}{0,035} + 0,27 + 0,13 = 1,8802 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{1,8802} = 0,53 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

6.5.2 Solução executada

A - Parede exterior (Tipo 1): Fachadas orientadas a Noroeste, Nordeste e Sudeste

Na Tabela 19 serão apresentados os valores da condutibilidade térmica e das resistências dos diversos materiais constituintes da parede exterior.

Tabela 19 - Valores da condutibilidade térmica e das resistências térmicas dos constituintes da parede exterior da solução final (Tipo 1)

Composição	Condutibilidade térmica λ_i (W/m.°C)	Resistência térmica R_{t_i} (m ² .°C/W)	Referências
Gesso projetado com 2 cm	0,43	-	Quadro I.2 do RCCTE
Alvenaria de blocos de termoargila com 0,29	0,28	-	Valor do fabricante ("Ceranor")
Poliestireno extrudido XPS com 4 cm	0,035	-	Valor de fabricante (Wallmate da "Sotecnisol")
Chapa de zinco com 0,001 m	0,113	-	Valor do fabricante (Marca "VMZINC")
Resistência térmicas superficiais (Quadro I.3 do RCCTE)		Rsi = 0,13 m ² .°C/W	Rse = 0,04 m ² .°C/W

Como se trata de um espaço de ar fortemente ventilado, considera-se:

- Rse = Rsi = 0,13 m².°C/W
- Rt caixa ar= 0
- Rt zinco =0

Por aplicação da expressão 3, o cálculo da resistência térmica R_t e do coeficiente U é dado por:

$$R_t = R_{si} + \frac{e_{\text{gesso proj}}}{\lambda_{\text{gesso proj}}} + \frac{e_{\text{Tijolo térmico}}}{\lambda_{\text{Tijolo térmico}}} + \frac{e_{\text{XPS}}}{\lambda_{\text{XPS}}} + R_{si}$$

$$R_t = 0,13 + \frac{0,02}{0,43} + \frac{0,29}{0,28} + \frac{0,04}{0,035} + 0,13 = 2,4851 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{2,4851} = 0,40 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

B - Parede exterior (tipo 2): Fachada principal (Sudoeste)

Na Tabela 20 apresentam-se os valores da condutibilidade térmica e das resistências dos diversos materiais constituintes da parede exterior da fachada principal

Tabela 20 - Valores da condutibilidade térmica e das resistências térmicas dos constituintes da parede exterior da solução final (tipo 2)

Composição	Condutibilidade térmica λ_i (W/m.°C)	Resistência térmica R_{t_i} (m ² .°C/W)	Referências
Gesso projetado com 2 cm	0,43	-	Quadro I.2 do RCCTE
Alvenaria de tijolo furado de 11 cm	-	0,27	Quadro I.5 do RCCTE
Poliestireno extrudido XPS com 4 cm	0,035	-	Valor de fabricante (Wallmate da “Sotecnisol”)
Parede de betão armado com 0,20 m	2,0	-	Quadro I.2 do RCCTE
Chapa de zinco com 0,001 m	0,113	-	Valor do fabricante (Marca “VMZINC”)
Resistência térmicas superficiais (Quadro I.3 do		$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$	$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$

Como se trata de um espaço de ar fortemente ventilado, considera-se igualmente:

- $R_{se} = R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$
- $R_t \text{ ex ar} = 0$
- $R_t \text{ zinco} = 0$

Por aplicação da expressão 3, o cálculo da resistência térmica R_t e do coeficiente U é dado por:

$$R_t = R_{si} + \frac{e_{\text{gesso proj}}}{\lambda_{\text{gesso proj}}} + R_t \text{ alvenaria 11} + \frac{e_{\text{XPS}}}{\lambda_{\text{XPS}}} + \frac{e_{\text{betão armado}}}{\lambda_{\text{betão armado}}} + R_{si}$$

$$R_t = 0,13 + \frac{0,02}{0,43} + 0,27 + \frac{0,04}{0,035} + \frac{0,20}{2,0} + 0,13 = 1,8194 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$$

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{1,8194} = 0,55 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{°C}$$

Tabela 21 - Tabela resumo dos valores dos coeficientes de transmissão térmica

Paredes Exteriores	Coefficiente de transmissão
Solução inicial (ver pormenor da Tabela 16)	$U = 0,53 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{°C}$
Solução executada tipo 1 (Paredes exteriores orientadas a Noroeste, Nordeste e Sudeste) (ver pormenor da Tabela 17)	$U = 0,40 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{°C}$
Solução executada tipo 2 (Parede exterior orientada a Sudoeste) (ver pormenor da Tabela 17)	$U = 0,55 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{°C}$

De acordo com o que podemos observar na Tabela 21, conclui-se que a melhor solução para a parede exterior em termos térmicos seria a parede constituída por blocos de termoargila, uma vez que é a que possui um coeficiente de transmissão térmica mais baixo.

Comparando a solução inicial e a solução adotada, pode-se dizer que a solução executada será a mais vantajosa.

A inclusão do zinco não interfere no desempenho térmico da parede. A diferença reside no mais no sistema de parede que passou de uma parede dupla para uma parede simples ventilada.

6.6 Análise do desempenho acústico da fachada

O isolamento acústico de um edifício é um fator importante a ter em conta, principalmente se estivermos a falar de edifícios multifamiliares. No caso em estudo apresenta-se os resultados de uma análise ao comportamento acústico das paredes exteriores do edifício.

O isolamento a sons aéreos é um dos aspetos de maior importância para o conforto acústico dos edifícios e deve ser assegurado tanto para os elementos constituintes das fachadas como da compartimentação interior. Estes sons são provenientes da excitação direta do ar por uma fonte sonora, podendo esta ser provocada por ruído rodoviário ou por simples conversação e atividade quotidiana.

Nesta secção vai-se proceder ao cálculo do índice ponderado de redução acústica (R_w) que corresponde ao índice de redução do som que é transportado pelo ar. O objetivo deste cálculo é poder comparar o valor deste índice das duas soluções de parede exterior, a inicial e a final. A forma mais correta para se proceder à descoberta deste valor era a realização de ensaios, mas como não foi possível, vai-se obter este valor por outras vertentes.

Nesta secção vai-se proceder ao cálculo do índice ponderado de redução acústica (R_w) que corresponde ao índice de redução do som transportado pelo ar. Está então relacionada com

a transmissão dos sons aéreos. O objetivo deste cálculo é poder comparar o valor deste índice das duas soluções de parede exterior, a inicial e a final.

Para a determinação deste valor optou-se pelo método da Lei da Massa. A Lei da Massa consiste na obtenção do índice de redução sonora de elementos de compartimentação homogêneos, simples, em função da sua massa superficial sendo efetuado um somatório das massas de todos os elementos presentes.

Tal como na análise do desempenho térmico, o fato de ser uma fachada revestida a zinco, este não vai ter qualquer influência no cálculo do R_w , uma vez que a massa do zinco é muito reduzida. O ruído provocado pela chuva nas chapas de zinco deve ser considerado com sendo um ruído de percussão e não um ruído aéreo, uma vez que é o som resultante de uma ação de choque (entre a chuva e o zinco), e não um som que vem pelo ar, pelo que não foi tido em conta este efeito nesta análise.

Utilizando o método da Lei da Massa, podemos efetuar o cálculo do R_w utilizando o método dos diagramas (Figura 110) ou o método baseado em expressões matemáticas.

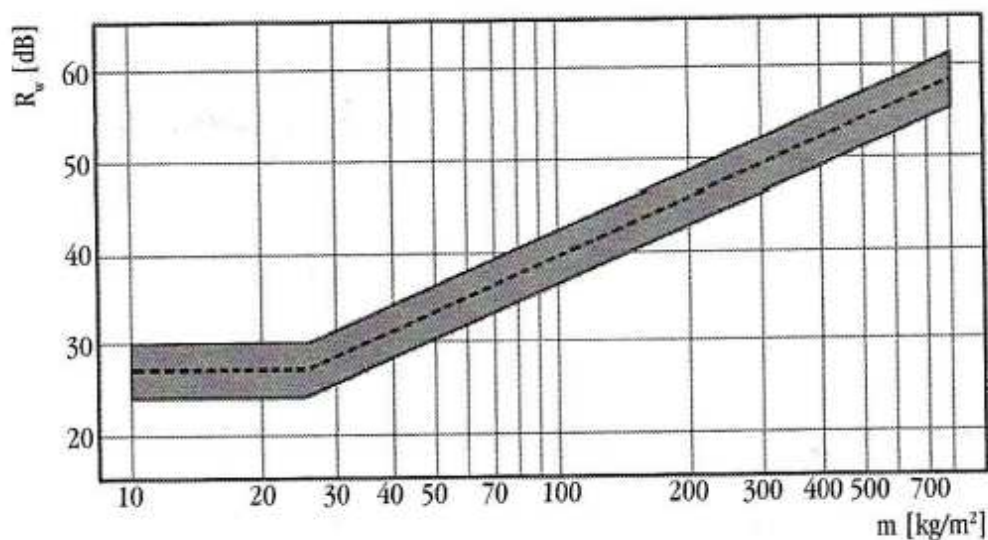


Figura 110 - Diagrama da Lei da Massa [9]

Para o método analítico, caso se trate de paredes duplas, utiliza-se as seguintes fórmulas:

$$\text{Para } m < 200 \text{ Kg/m}^2 \rightarrow R_w = 13,2 \times \log(m_1 + m_2) + 13,8 \text{ dB}$$

$$\text{Para } m \geq 200 \text{ Kg/m}^2 \rightarrow R_w = 14,3 \times \log(m_1 + m_2) + 11 \text{ dB}$$

Caso se tratem de paredes simples, utilizam-se as seguintes expressões:

$$\text{Para } m \geq 50 \text{ Kg/m}^2 \rightarrow R_w = 21,7 \times \log m - 2,3 \pm 1 \text{ dB}$$

$$\text{Para } m \geq 100 \text{ Kg/m}^2 \rightarrow R_w = 32,4 \times \log m - 26 \text{ dB}$$

$$\text{Para } m > 150 \text{ Kg/m}^2 \rightarrow R_w = 40 \times \log m - 45 \text{ dB}$$

Em ambos os métodos, no fim há que acrescentar os valores referentes à caixa-de-ar e aos isolantes acústicos, caso estes se encontrem entre panos de parede, de acordo com as indicações da Tabela 22. Estes valores são provenientes de ensaios já realizados, não sendo valores normativos. No caso em estudo não temos nenhum tipo de isolante acústico, uma vez que a contribuição do XPS acusticamente é praticamente nula.

Tabela 22 - Valores do acréscimo para o cálculo do R_w (ΔR_w)

Acréscimo ao valor de R_w (para panos desligados)	
Caraterísticas da caixa-de-ar	
até 1 cm	2 db
de 2 a 4 cm	3 a 4 db
maior que 4 cm	5 db
Caraterísticas do material isolante	
até 1 cm	1 db
de 2 a 4 cm	2 db
maior que 4 cm	3 a 4 db

6.6.1 Solução inicial

Na Tabela 23 e na Tabela 24 são apresentados os valores da massa superficial do pano com maior e com menor massa, respetivamente.

Tabela 23 - Massa superficial do pano com maior massa (m1)

Material	Massa volúmica (Kg/m ³)	Massa Específica (Kg/m ²)
Tijolo furado de 15	-	110 Kg/m ²
Reboco (2 cm)	1400 Kg/m ³	$1400 \times 0,02 = 28 \text{ Kg/m}^2$
Total		138 Kg/m ²

Tabela 24 - Massa superficial do pano com menor massa (m2)

Material	Massa volúmica (Kg/m ³)	Massa Específica (Kg/m ²)
Tijolo furado de 11	-	83 Kg/m ²
Reboco (1,5 cm)	1400 Kg/m ³	$1400 \times 0,015 = 21 \text{ Kg/m}^2$
Total		104 Kg/m ²

$$m1 + m2 = 138 + 104 = 242 \text{ Kg/m}^2$$

Cálculo do R_w pelo método analítico

Como $m1 + m2 > 200 \text{ Kg/m}^2$ então $R_w = 14,3 \times \log (m1 + m2) + 11 \text{ dB}$

$$R_w = 14,3 \times \log (138 + 104) + 11 = 45,1 \text{ dB}$$

Como a parede possui uma caixa-de-ar de 2cm, este valor de R_w, de acordo com o apresentado na Tabela 22 , vai sofrer um acréscimo de 3 dB.

$$R_w = 45,1 + 3 = 48,1 \text{ dB} \cong 48 \text{ dB}$$

Cálculo do R_w pelo método dos diagramas

Para um valor de $m = 242 \text{ Kg/m}^2$ lê-se no gráfico um valor de aproximadamente 45 dB

Juntando a este valor, o acréscimo da caixa-de-ar temos $R_w = 45 + 3 = 48 \text{ dB}$.

6.6.2 Solução executada

- Parede dupla (Tipo 2)

Na Tabela 25 e Tabela 26 são apresentados os valores das massas superficiais do pano com menor e maior massa, respetivamente.

Tabela 25 - Massa superficial do pano com maior massa (m_1)

Material	Massa volúmica (Kg/m^3)	Massa Específica (Kg/m^2)
Betão (20cm)	2500 Kg/m^3	500 Kg/m^2

Tabela 26 - Massa superficial do pano com menor massa (m_2)

Material	Massa volúmica (Kg/m^3)	Massa Específica (Kg/m^2)
Tijolo furado de 11	-	83 Kg/m^2
Gesso projetado (2 cm)	900 Kg/m^3	$900 \times 0,02 = 18 \text{ Kg/m}^2$
Total		101 Kg/m^2

$$m_1 + m_2 = 500 + 101 = 601 \text{ Kg/m}^2$$

Cálculo do R_w pelo método analítico

Como $m_1 + m_2 > 200 \text{ Kg/m}^2$ então $R_w = 14,3 \times \log(m_1 + m_2) + 11 \text{ dB}$

$$R_w = 14,3 \times \log(601) + 11 = 50,7 \text{ dB} \cong 51 \text{ dB}$$

Como a caixa-de-ar está completamente preenchida com XPS, não é contabilizado o incremento da mesma.

Cálculo do R_w pelo método dos diagramas

Para um valor de $m = 601 \text{ Kg/m}^2$ lê-se no gráfico um valor de aproximadamente 55 dB.

- Parede simples (Tipo 1)

Como se trata de uma parede simples apenas vai haver um pano, que vai ser o bloco termo argila e o estuque projetado. Aqui neste caso não se faz os acréscimos ao valor de R_w . Na Tabela 27 apresenta-se os valores das massas volúmicas e específicas do pano simples.

Tabela 27 - Massa superficial do pano

Material	Massa volúmica (Kg/m^3)	Massa Específica (Kg/m^2)
Blocos termo argila (29 cm)	1770 Kg/m^3	513,30 Kg/m^2
Gesso projetado (2 cm)	900 Kg/m^3	$900 \times 0,02 = 18 \text{ Kg/m}^2$
Total		531,30 Kg/m^2

Cálculo do R_w pelo método analítico

$$\text{Como } m > 150 \text{ Kg/m}^2 \rightarrow R_w = 40 \times \log m - 45 \text{ dB}$$

$$R_w = 40 \times \log 531,30 - 45 = 64 \text{ dB}$$

Cálculo do R_w pelo método dos diagramas

Para um valor de $m = 531,01 \text{ Kg/m}^2$ lê-se no gráfico um valor de aproximadamente 54 dB.

Com base nos valores obtidos por ambos os métodos de cálculo, conclui-se que quanto maior é a massa, maior vai ser a diferença de dB entre o método analítico e o método dos diagramas.

Na Tabela 28 são apresentados os valores finais de R_w de todas as soluções de parede exterior. Vai-se utilizar os valores de R_w provenientes dos diagramas, uma vez que é o método mais simples e mais corrente.

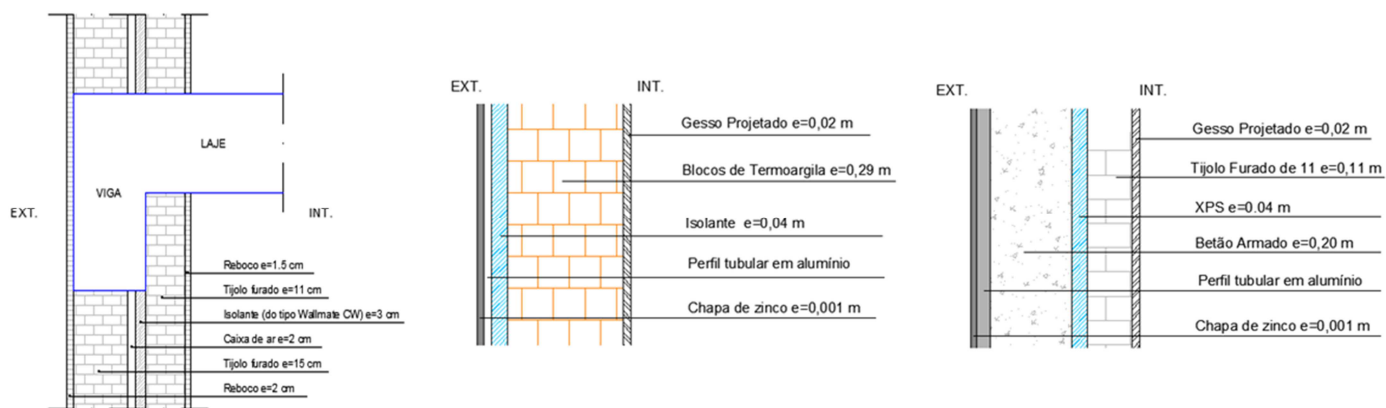
Tabela 28 - Tabela resumo dos valores dos índices de redução acústica

Paredes Exteriores	Índice de redução acústica
Solução inicial (ver pormenor da Tabela 16)	48 dB
Solução executada (Parede Tipo 1) (Paredes exteriores orientadas a Noroeste, Nordeste e Sudeste) (ver pormenor da Tabela 17)	54 dB
Solução executada (Parede Tipo 2) (Parede exterior orientada a Sudoeste) (ver pormenor da Tabela 17)	55 dB

De acordo com os valores que são apresentados na Tabela 28 conclui-se que a melhor solução de parede exterior é a solução executada. A solução inicial apresenta um índice de redução acústica mais baixo relativamente aos dois tipos de parede executados.

6.7 Análise global comparativa do desempenho térmico e acústico da fachada

Neste item pretende-se mostrar de um modo mais simplificado os valores obtidos para o cálculo do desempenho térmico e acústico das paredes exteriores. Como se pode constatar pela observação da Tabela 29, a melhor solução de parede é a solução executada, obtendo-se valores mais favoráveis. Na Figura 111 são apresentadas novamente as diferentes soluções de paredes exteriores.



a) Solução de parede inicial

b) Solução executada (tipo 1)

c) Solução executada (tipo 2)

Figura 111 - Soluções de parede exterior

Tabela 29 - Tabela comparativa das diversas soluções

	Solução inicial	Solução executada (parede tipo 1)	Solução executada (parede tipo 2)
Índice de redução acústica R_w	48 dB	54 dB	55 dB
Coefficiente de transmissão térmica U	0,53 W/m ² .° C	0,40 W/m ² .° C	0,55 W/m ² .° C

6.8 Instalação da fachada

A edificação possui a fachada revestida a zinco, pelo sistema do tipo encaixe. Na sua instalação foram utilizados painéis de zinco com 1 mm de espessura do tipo Quartz. Foi decidido desde início que as placas iriam ser colocadas na posição horizontal e que estas não iriam ter todas as mesmas dimensões geométricas, devido ao fato de os vãos condicionarem a modulação dos painéis. O comprimento máximo dos painéis é de 3,7m e vão ter uma altura máxima de 0,373m.

Na Figura 112 apresenta-se a estereotomia da fachada Nordeste do edifício.

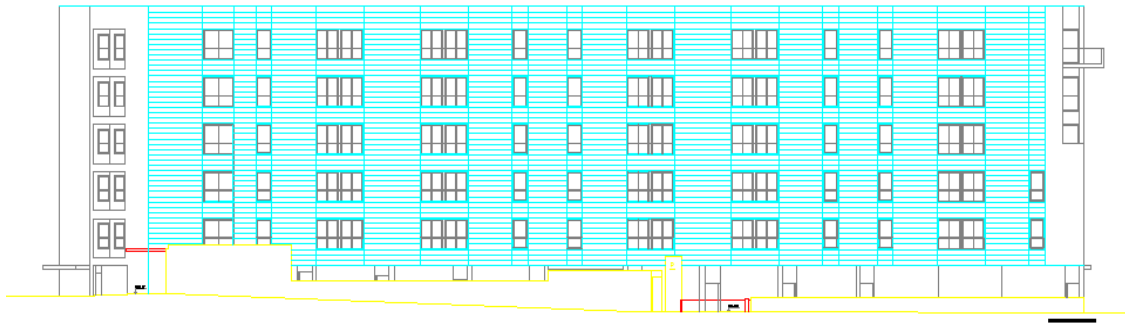


Figura 112 - Estereotomia da parede exterior orientada a Nordeste

Na Figura 113 apresentam-se as vistas gerais de todas as fachadas do edifício onde são visíveis os painéis de zinco aplicados.



a) Fachada Sudoeste e Sudeste



b) Fachada Sudoeste e Noroeste



c) Fachada Noroeste e Nordeste

Figura 113 - Vista geral das fachadas do edifício

O transporte dos painéis de zinco e o seu armazenamento em obra são fatores importantes a ter em conta. As chapas de zinco para a execução das fachadas são perfiladas em fábrica e colocadas em caixotes de madeira construídos para o efeito de transporte, onde são colocados deitados e em posição cutelo (maior dimensão disposta na vertical). Já em obra o caixote é içado até uma varanda e descarregados à mão para o edifício. O armazenamento foi feito ao longo das diversas varandas, para evitar deslocações dos perfis pelo interior do edifício.

Depois da conclusão da execução da estrutura do edifício, a primeira etapa da instalação da fachada é a colocação da designada ossatura, sendo esta a estrutura que vai suportar os painéis de zinco. Para a ossatura optou-se por perfis tubulares em alumínio anodizado, na qual foram utilizados cerca de 6km de tubo.

Depois de colocada toda a ossatura na fachada, procede-se á colocação do isolante térmico, tendo-se optado pelo poliestireno extrudido expandido (XPS). É importante referir que uma das fachadas, a Sudoeste, não possui isolamento pelo exterior, uma vez que se trata de uma parede dupla com isolante térmico a ocupar totalmente a caixa-de-ar.

Na Figura 114 está ilustrado a montagem da ossatura e do poliestireno extrudido.



Figura 114 - Pormenor da ossatura e do isolante térmico

Após a montagem dos perfis tubulares e da colocação, por via mecânica, do isolante térmico, segue-se a aplicação dos painéis de zinco. Na fachada principal do edifício apenas se vai proceder à montagem dos perfis de alumínio, não contendo nenhum tipo de isolante entre a estrutura e os painéis de zinco. A instalação dos painéis foi realizada de cima para baixo e da esquerda para a direita, sendo estas direções de instalação definidas pelo tipo de sistema aplicado, neste caso o sistema de encaixe.

Na Figura 115 apresenta-se a colocação dos painéis de zinco nas fachadas e na Figura 116 pode-se observar com maior pormenor a instalação do painel sobre o XPS e a ossatura.



a) Colocação dos painéis de zinco na fachada principal do edifício (Sudoeste)



b) Colocação dos painéis de zinco nas restantes fachadas

Figura 115 - Instalação dos painéis nas fachadas



Figura 116 – Pormenor da instalação dos painéis sobre o isolante térmico

Todos os perfis de zinco foram dispostos na horizontal e para a sua fixação foram utilizados parafusos em aço inox auto-perfurantes. De modo a permitir a livre dilatação dos painéis, os furos possuem uma forma ovalizada. Na zona de junção entre painéis onde estão fixos à ossatura, ou seja, na junta transversal dos painéis, foram colocados tapas juntas, de modo a permitir a escorrência das águas das chuvas (ver Figura 117).



Figura 117 - Pormenor de instalação do tapa juntas na junta transversal entre painéis

Em secções anteriores referiu-se a importância da utilização de uma tela pitonada em PEAD, de modo a prevenir determinadas incompatibilidades de certos materiais com o zinco. Neste caso em específico, na fachada, não se procedeu à colocação desta tela, pois uma vez que se trata de perfil de encaixe em situação de fachada ventilada, não vai existir qualquer contato direto entre o zinco e o betão ou o reboco. No entanto existem locais nos quais foi aplicada esta membrana pitonada, nomeadamente nos locais em que existe o contato direto e continuado entre o zinco e o reboco ou betão. Um exemplo desses locais é

a zona de remate de vão, na zona onde posteriormente irão ser colocados os caixilhos (ver Figura 118).



Figura 118 – Exemplo de locais de aplicação da tela pitonada em PEAD

A importância de uma boa execução da fachada é importante para garantir uma elevada durabilidade e evitar o aparecimento de possíveis patologias. Os remates realizados, nomeadamente os remates de topo, de ombreira e de soleira são também um fator de extrema importância. Na Figura 119 ilustram-se os pormenores construtivos para a execução dos pontos altos e baixos da fachada.

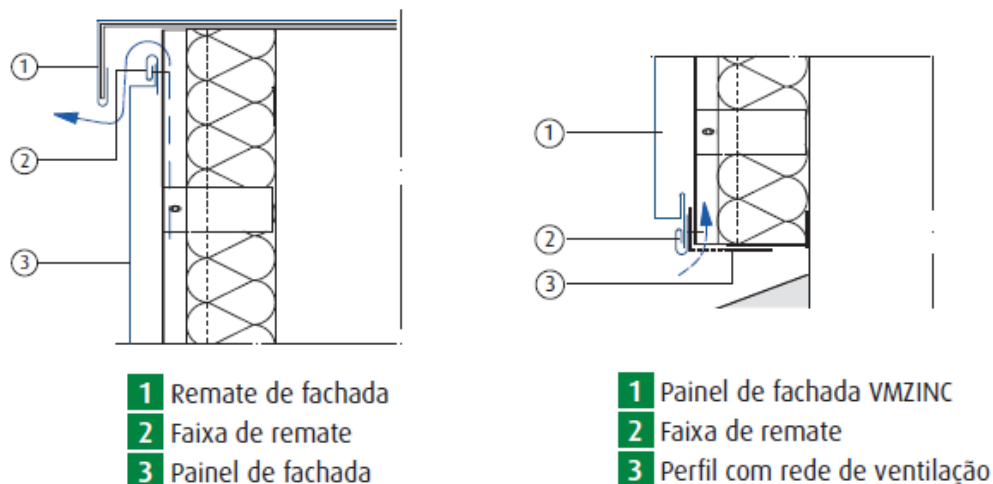


Figura 119 - Execução da parte alta e da parte baixa da fachada, respetivamente [6]

A instalação da parte alta e da parte baixa da fachada têm que ser executadas de modo a garantir que haja uma ventilação pelo interior dos painéis de zinco. Os painéis situados na parte superior da fachada são fixos pela parte superior dos painéis e são cobertos pela denominada faixa de remate, já dobrada anteriormente. Para os painéis inferiores também foi instalada uma faixa de remate.

Nas figuras seguintes ilustram-se pormenores de fixação e de remate das chapas de zinco, nomeadamente remates na soleira, na padieira e laterais.



Figura 120 - Pormenor de remate da soleira da janela (Orientação: Sudoeste)

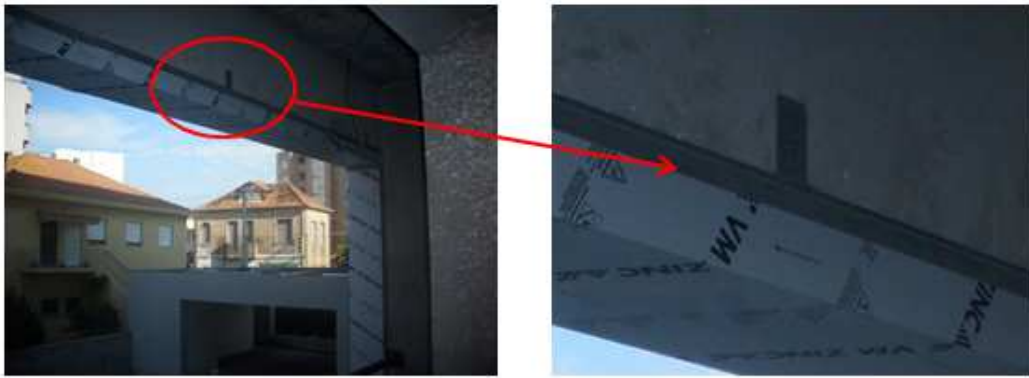


Figura 121 - Exemplo de fixação da chapa na padieira numa das varandas voltadas a Nordeste



Figura 122 - Pormenor de remate lateral e da padieira (Orientação: Nordeste)



Figura 123 - Pormenor de local para posterior encaixe do guarda-corpo de vidro



Figura 124 - Pormenor de remate lateral (Orientação: Sudoeste)

6.9 Recomendações para a execução das fachadas em zinco

A execução desta obra, em termos de fachada, foi realizada sem problemas técnicos, no entanto existem certos pormenores em que se poderia ter tido maior atenção.

Um dos fatores a que se devia ter dado mais atenção era ao isolamento acústico da fachada, uma vez que o ruído que a água da chuva emite em contato com as chapas de zinco é incomodativo para os habitantes do edifício. Se o problema tivesse sido previsto inicialmente, poder-se-ia ter colocado uma tela acústica para tentar resolver deste problema. Outro tipo de soluções para a resolução deste problema também poderia ser estudado.

Para esta fachada optou-se pelo tipo de sistema de encaixe, mas poderia ter sido aplicado um outro tipo qualquer. A escolha deste sistema ficou a cargo da Arquiteta, uma vez que queria enfatizar as linhas horizontais das fachadas.

Uma vez que a ideia estava voltada para fachadas ventiladas poderia ter sido utilizado um outro tipo de painel e de sistema nomeadamente o painel “Composite”, o perfil ondulado ou o sistema “Mosaik”.

6.10 Estimativa de custos para a fachada

A execução da fachada, tal como o fornecimento de zinco ficou ao cargo da “Umicore Portugal”, da marca “VMZINC”. O pedido de orçamentação para o revestimento desta fachada foi realizado no ano de 2010 e o prazo previsto para a execução total da empreitada era de 26 semanas após o início dos trabalhos em obra.

O valor global da proposta previsto para o revestimento de todo o edifício, incluindo a cobertura, era de 305.290,35 € + iva à taxa legal em vigor. O valor da fachada em perfil de encaixe em zinco ronda os 186.000,00 € + iva à taxa legal em vigor. Neste valor estão excluídos os perímetros e as vedações das janelas de todo o edifício. Na Tabela 30 apresenta-se o orçamento global para a fachada tendo especificado os diferentes alçados.

Tabela 30 - Orçamento para a fachada

Localização	Descrição	Quantidade (m ²)	Preço Unitário (€)	Preço (€)
Alçado Sudoeste	Fachada perfil de encaixe	876,20	74,13	64.952,71
Alçado Noroeste	Fachada perfil de encaixe	401,26		29.745,40
Alçado Sudeste	Fachada perfil de encaixe	320,08		23.727,53
Alçado Nordeste	Fachada perfil de encaixe	910,00		67.458,30
	TOTAL	2507,54		185.883,94 + Iva

Pode-se concluir que a execução da fachada corresponde a cerca de 60% do valor global da subempreitada de zinco.

A execução deste tipo de fachada implica uso de mão-de-obra especializada, que tem custos mais elevados. Normalmente o custo da mão-de-obra representa cerca de 1/3 do

custo da obra de revestimento, ou seja, o custo da mão-de-obra para a execução das fachadas foi aproximadamente de 62.000 euros.

7. Conclusões e desenvolvimentos futuros

O principal objetivo deste trabalho incidiu no estudo de soluções construtivas de sistemas de fachada em zinco, com base numa pesquisa bibliográfica acerca deste tipo de revestimento de fachada.

Com a realização desta pesquisa conseguiu-se identificar um conjunto de fatores e obter indicações importantes para a execução em obra deste tipo de tecnologia, conduzindo à necessidade de um “manual técnico”.

Conclui-se, que tal como qualquer material de revestimento, o zinco possui características boas e menos boas. No entanto, ele apresenta propriedades que o tornam num material vantajoso em relação a outros tipos de materiais, como a sua elevada durabilidade quando existe uma adequada aplicação, ser um material anticorrosivo e ainda o fato de ser um material sustentável.

Ao longo do trabalho constata-se que esta tecnologia de revestimento de fachada em zinco exige cuidados como a verificação dos materiais incompatíveis, a limitação do comprimento dos painéis em zinco e sua espessura, assim como o tipo de fixação e a necessidade da realização de um estudo de estereotomia da fachada. Muito importante é também o fato de ser necessária uma mão-de-obra especializada, pois com a aplicação correta deste tipo de soluções de fachadas, as probabilidades de ocorrência de patologias ou problemas associados à fachada é consideravelmente menor.

Este material apesar de possuir um custo inicial mais elevado em comparação aos revestimentos mais tradicionais, como revestimento a tinta, permite uma poupança ao longo dos anos em manutenção, para além da sua elevada durabilidade torna-lo um material mais económico ao longo do seu ciclo de vida.

Relativamente ao caso de estudo do edifício Rosário, chegou-se à conclusão que a segunda solução de parede, ou seja, a solução executada é mais vantajosa quer em termos acústicos, quer térmicos para o desempenho do edifício. Foi também um pouco negligenciável por parte de quem projeta e executa este tipo de fachadas o fato de poder haver ruído de percussão nos painéis aquando o embate da chuva, tendo este fato contribuído para o desconforto dos habitantes. Devem ser então desenvolvidos estudos para a resolução deste problema.

No que respeita a valores constata-se que o valor da execução da fachada para esta edificação foi bastante elevado quando comparado a fachadas mais tradicionais.

Um fator que dificultou um pouco a realização deste trabalho foi, como já referido, a escassez de informação relativamente a este tipo de sistema de revestimento de fachada. São muito poucos os fabricantes ou as empresas distribuidoras que cedem informação, quer por via de suporte eletrónico quer através de contato direto com a empresa. Devido à escassez de informação, e visto que existem cada vez mais arquitetos a optarem por este tipo de revestimento, seja em zinco seja noutro tipo de metal, uma das necessidades futuras seria a criação de documentos técnicos específicos por parte das entidades reguladores sobre a aplicação de zinco em fachadas. Seria este uma mais-valia para todos os intervenientes em obra, facilitando assim o trabalho de todos.

No que respeita ao próprio painel em zinco, este com o tempo poderia vir a evoluir. Já existem disponíveis painéis com isolante (polietileno) que funciona como retardador em caso de fogo. Poderia, num futuro próximo, vir a ser criado um tipo de painel em que fosse colocado uma membrana acústica na parte tardoz da peça ou então entre dois painéis como no caso dos painéis do tipo “Composite”. Esta tela acústica poderia vir a resolver os

problemas de ruído de percussão, como o caso de chuva a embater contra a fachada, levando a um maior conforto dos habitantes.

Bibliografia

- [1] “Oricalco,” 9 Novembro 2012. [Online]. Disponível: <http://portal-dos-mitos.blogspot.pt/2012/11/oricalco.html>. [Acedido em 5 Junho 2013].
- [2] “Engenharia de minas,” Wikipedia, [Online]. Disponível: http://pt.wikipedia.org/wiki/Engenharia_de_minas. [Acedido em Setembro 2013].
- [3] Fotografia de Stock Royalty Free: Telhados em Paris. [Online]. Disponível: <http://pt.dreamstime.com/fotografia-de-stock-royalty-free-telhados-em-paris-image3809967>. [Acedido em 4 Junho 2013].
- [4] “Hunter Douglas Commercial”, Manual técnico “Single Skin Facades Systems”, 2009.
- [5] VMZINC, Manual técnico “Le Mémento du couvreur zingueur”, 2012.
- [6] VMZINC, “Documentação VMZINC (Repositório),” [Online]. Disponível: <http://www.vnzinc.pt/documentacoes.html>. [Acedido em Julho/Agosto 2013].
- [7] VMZINC, “Fachada VMZINC”, [Online]. Disponível: <http://www.vnzinc.pt/as-nossas-solucoes/fachada.html>. [Acedido em Julho/Agosto 2013].
- [8] VMZINC, Ficha técnica “Delta VM ZINC”.
- [9] J. V. Patrício, Acústica nos Edifícios, Verlag Dashofer, Edições Profissionais, Inip.,Lda, 2008.
- [10] “História do Zinco,” [Online]. Disponível: <http://www.rheinzink.pt/qualidade/historia-do-zinco/>. [Acedido em Fevereiro 2013].
- [11] “Zinco,” [Online]. Disponível: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Zinco>. [Acedido em Fevereiro 2013].

- [12] D. M. Schonnenbeck e F. Neumann, “History of Zinc, its Production and Usage,” [Online].Disponível:
http://www.rheinzink.pt/fileadmin/inhalt/bilder/ebooks/208521696950326cd58ae8d/index_en.html. [Acedido em Fevereiro 2013].
- [13] “Paracelso,” [Online]. Disponível: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Paracelso>. [Acedido em Fevereiro 2013].
- [14] “Société des Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille-Montagne,” [Online]. Disponível:
http://fr.wikipedia.org/wiki/Soci%C3%A9t%C3%A9_des_Mines_et_Fonderies_de_Zinc_de_la_Vieille-Montagne. [Acedido em Fevereiro 2013].
- [15] J.-M. Onkelinx, “Jean-Marc Onkelinx - En Avant la Musique!,” 11 Maio 2009. [Online].Disponível: <http://jmomusique.skynetblogs.be/archive/2009/05/index.html>. [Acedido em 11 Abril 2013].
- [16] J. F. Santos, “Ministério de minas e energia,” Agosto 2009. [Online]. Disponível: http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_transformacao_mineral_no_brasil/P39_RT65_Perfil_do_Zinco.pdf.
- [17] P. Ailton, “Metais não Ferrosos,” [Online]. Disponível: <http://xa.yimg.com/kq/groups/21784460/1297495751/name/Metais>. [Acedido em Fevereiro 2013].
- [18] “Metais e suas ligas - Zinco,” 22 Abril 2013. [Online]. Disponível: <http://metaisesuasligasqui8.blogspot.pt/2013/04/zinco.html>. [Acedido em 23 Maio 2013].
- [19] “Zinco e suas aplicações na Engenharia Civil”, pela Universidade de Salvador, 2011. [Online]. Disponível: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAesNMAK/zinco>. [Acedido em Março 2013].

- [20] Wikipedia, “Cincita,” 12 Março 2013. [Online]. Disponível: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cincita>. [Acedido em 17 Junho 2013].
- [21] Wikipedia, “Hemimorfita,” 8 Março 2013. [Online]. Disponível: <http://es.wikipedia.org/wiki/Hemimorfita>. [Acedido em 17 Junho 2013].
- [22] Wikipedia, “Hidrocincita,” 8 Março 2013. [Online]. Disponível: <http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrocincita>. [Acedido em 17 Junho 2013].
- [23] Wikipedia, “Willemita,” 11 Março 2013. [Online]. Disponível: <http://es.wikipedia.org/wiki/Willemita>. [Acedido em 17 Junho 2013].
- [24] Wikipédia, “Smithsonita,” 25 Março 2013. [Online]. Disponível: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Smithsonita>. [Acedido em 17 Junho 2013].
- [25] “Zinco,” [Online]. Disponível: http://www.mspc.eng.br/quim1/quim1_030.asp. [Acedido em Fevereiro 2013].
- [26] “Dilatação térmica dos sólidos,” [Online]. Disponível: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfOwUAE/dilatacao-termica>. [Acedido em 10 Setembro 2013].
- [27] M. A. Andrade, L. M. Cunha, J. R. Vieira e E. F. Oliveira, “Mercado Nacional de Zinco: Evolução e Perpetivas,” Julho 1998. [Online]. Available: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set802.pdf. [Acedido em 10 Abril 2013].
- [28] Somincor, “Mineração”, [Online]. Disponível: <http://somincor.com.pt/pt/ms/ms/mineracao-7780-409-santa-barbara-de-padroes/ms-90040102-p-4/>. [Acedido em Setembro 2013].
- [29] D. Cardozo, R. Galdi e W. Seminara, Zinco e sua aplicação na indústria da borracha, São Paulo, Outubro 2012.

- [30] “Metallurgy,” [Online]. Disponível:
<http://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0/s27-the-d-block-elements.html>. [Acedido em Setembro 2013].
- [31] “Mining-technology.com,” [Online]. Disponível: http://www.mining-technology.com/projects/red_dog/red_dog6.html. [Acedido em Setembro 2013].
- [32] Wikipédia, “Lixiviação,” [Online]. Disponível:
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Lixivia%C3%A7%C3%A3o>. [Acedido em 31 Maio 2013].
- [33] “Metalak,” [Online]. Disponível: <http://metalak.com.br/>. [Acedido em 31 Maio 2013].
- [34] Silva, Pedro - "Tecnologia de revestimentos em zinco e cobre na envolvente exterior de edifícios" , Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Porto: ISEP-IPP, Outubro 2012.
- [35] Vmzinc, “Processo industrial na VMZINC,” [Online]. Disponível:
<http://www.vmzinc.pt/quem-somos-/processo-industrial-na-vmzinc.html>. [Acedido em 4 Junho 2013].
- [36] “O Zinco,” [Online]. Disponível: <http://www.socaleiras.pt/img/funilaria/zinco.pdf>. [Acedido em Fevereiro 2013].
- [37] “ICZ Instituto de Metais Não Ferrosos,” [Online]. Disponível:
<http://www.icz.org.br/zinco-meio-ambiente.php>.
- [38] “KME The evolution of copper,” 2013. [Online]. Disponível:
http://www.kme.com/en/metal_prices#h_628. [Acedido em 27 Setembro 2013].
- [39] “Construção e Reabilitação Sustentável - Parcerias para a regeneração urbana 2011,” 2011. [Online]. Disponível:
<http://www.centrohabitat.net/ReadObject.aspx?obj=21629..> [Acedido em 2013].

- [40] I. Z. Association, “Zinc...A Sustainable Material,” 2010. [Online]. Disponível: http://www.zinc.org/general/Zinc%E2%80%A6A6A_Sustainable_MaterialENGLISH.pdf. [Acedido em Abril 2013].
- [41] F. P. Torgal e S. Jalali, “Construção Sustentável. O caso dos materiais de construção,” [Online]. Disponível: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/7542/1/Artigo%25204.pdf>. [Acedido em 12 abril 2013].
- [42] “daniMetais,” [Online]. Disponível: <http://www.danimetais.com.br/reciclar+zinco.asp>. [Acedido em 08 Abril 2013].
- [43] “VMZINC,” [Online]. Disponível: <http://www.vnzinc.pt/zinco-e-o-ambiente/consumo-de-energia.html>. [Acedido em 08 Abril 2013].
- [44] P. J. Arsenault, “Zinc Roofing and Wall Systems,” [Online]. Disponível: <http://continuingeducation.construction.com/crs.php?L=84&C=880>. [Acedido em 03 Setembro 2013].
- [45] krak-zinc, [Online]. Disponível: <http://www.krak-zinc.pl/galeria-realizacji/?name=LegnickaBusinessHouseWrocAw>. [Acedido em 03 Setembro 2013].
- [46] VMZINC, “VMZINC - Liga de zinco,” [Online]. Disponível: <http://www.vnzinc.pt/o-material/liga-de-zinco.html>. [Acedido em 08 Maio 2013].
- [47] Norma Europeia EN988:1997 - Zinc and zinc alloys. Specification for rolled flat products for building, 1997.
- [48] UMICORE, “Certificado de Qualidade UMICORE,” [Online]. Disponível: http://www.coberfuzi.pt/site/upload/ultima_pag.pdf. [Acedido em 08 Maio 2013].
- [49] VMZINC, Manual “Principes de base”, 2013.

- [50] M. N. Valente, “Teoria do estado de tensão,” Setembro 2004. [Online]. Disponível: <http://www.ipb.pt/~mnvalente/MA2/MA2-TeoriaDoEstadodeTensao.pdf>. [Acedido em 06 Setembro 2013].
- [51] CINKARNA, User Manual "TITANIUM ZINC SHEETS".
- [52] NP EN 1991-1-4 "Ações em estruturas - Ações do vento", Instituto Português da Qualidade, 2010.
- [53] VMZINC, “VMZINC - Material Duradouro,” [Online]. Disponível: <http://www.vnzinc.pt/zinco-e-o-ambiente/material-duradouro.html>. [Acedido em 02 Maio 2013].
- [54] COBERFUZI, “O Zinco,” [Online]. Disponível: <http://www.coberfuzi.pt/pt/pagina/6/o-zinco/>. [Acedido em 08 Maio 2013].
- [55] M. d. A. Interna, Portaria nº1532/2008 de 29 de Novembro, 2008.
- [56] LNEC, E365 - Segurança contra incêndios. Reação ao fogo dos materiais de construção, 1990.
- [57] Umicore Building Products, 14; 17:25 Abril 2008 . [Online]. Disponível: <http://mestrado-reabilitacao.fu.utl.pt/disciplinas/jbastos/zinthesize.pdf>. [Acedido em 4 Junho 2013].
- [58] Norma Europeia EN 13501-1: Fire classification of construction products and building elements-Part1: Classification using data from reaction to fire tests, 2007.
- [59] VMZINC, “Zinco Natural VMZINC” [Online]. Disponível: <http://www.vnzinc.pt/o-material/aspectos-de-superficie/zinco-natural.html>. [Acedido em 22 Abril 2013].
- [60] Infopédia. [Online]. Disponível: [http://www.infopedia.pt/\\$fosfatacao](http://www.infopedia.pt/$fosfatacao). [Acedido em 22 Abril 2013].
- [61] VMZINC, “ANTHRA-ZINC®,” [Online]. Disponível: <http://www.vnzinc.pt/o-material/aspectos-de-superficie/anthra-zinc.html>. [Acedido em 22 Abril 2013].

- [62] VMZINC, “PIGMENTO®,” [Online]. Disponível: <http://www.vnzinc.pt/o-material/aspectos-de-superficie/pigmento.html>. [Acedido em 22 Abril 2013].
- [63] VMZINC. [Online]. Disponível: <http://www.vnzinc.ch/html/vnzinc-zink-oberflache.php>. [Acedido em 22 Abril 2013].
- [64] VMZINC, “Zinco Bilacado,” [Online]. Disponível: <http://www.vnzinc.pt/o-material/aspectos-de-superficie/zinco-bilacado.html>. [Acedido em 22 Abril 2013].
- [65] G. R. Coleman, “Condensação - Fundamentos,” 2001. [Online]. Disponível: <http://5cidade.files.wordpress.com/2008/04/condensacao.pdf>. [Acedido em Junho 2013].
- [66] Mendes, Francisco - “Durabilidade das fachadas Ventiladas”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Porto: FEUP-UP, Fevereiro 2009. [Online]. Disponível: <http://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/60056/1/000141996.pdf>. [Acedido em 8 Julho 2013].
- [67] Carvalho, Catarina - “Simulação do Comportamento Térmico de Edifícios com Fachada Ventilada”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, 2008. [Online]. Disponível: <http://ria.ua.pt/bitstream/10773/2482/1/2009000878.pdf>. [Acedido em 8 Julho 2013].
- [68] Carneiro, Patrícia - “Gestão Ambiental,” [Online]. Disponível: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAA98cAB/gestao-ambiental-zinco>. [Acedido em Fevereiro 2013].
- [69] “Dossier Técnico-Económico de Fachadas "Fachadas Ventiladas",” Outubro 2006. [Online]. Disponível: <http://engenhariacivil.files.wordpress.com/2008/01/dossiereconomico.pdf>. [Acedido em 10 Julho 2013].

- [70] “ROCKWOOL-Firesafe Insulation,” [Online]. Available: <http://www.rockwool.es/productos+y+soluciones/u/2011.construction/2791/fachadas/aislamiento-por-el-exterior/fachada-ventilada>. [Acedido em 10 Julho 2013].
- [71] Verde Tintas, “Verde Tintas- Comércio de tintas e vernizes, Lda,” 2013. [Online]. Disponível: <http://faraujo.webnode.com/>. [Acedido em 15 Julho 2013].
- [72] E. Oliveira, “Construção e Arquitetura,” 8 Fevereiro 2011. [Online]. Disponível: <http://construcao-arquitetura.blogspot.pt/2011/02/paredes-duplas.html>. [Acedido em 15 Julho 2013].
- [73] Rheinzink, “Revestimientos de fachada,” Maio 2013. [Online]. Disponível: http://www.rheinzink.pt/fileadmin/inhalt/bilder/ebooks/147993273951bae70e7c8ef/index_en.html. [Acedido em 30 Julho 2013].
- [74] “Cobzinc - Revestimentos metálicos, Lda,” [Online]. Disponível: http://www.cobzinc.pt/Site%20Cobzinc%20II/Cob_fachadas.htm. [Acedido em 24 Julho 2013].
- [75] S. A. Barbosa, Fachadas duplas em clima tropical de altitude: Análise do potencial de ventilação para ambientes por meios se simulação computacional, 2012.
- [76] VMZINC, “VMZINC - Compatibilidade,” [Online]. Disponível: <http://www.vnzinc.pt/as-nossas-solucoes/recomendacoes/compatibilidade.html>. [Acedido em 06 Maio 2013].
- [77] “Par Galvanico y Cementacion,” [Online]. Disponível: <http://www.ehu.es/ehusfera/materiales/files/2011/02/Cementacion-pares-galvanicos.pdf>. [Acedido em 06 Maio 2013].
- [78] “Dicionário Informal,” [Online]. Disponível: <http://www.dicionarioinformal.com.br/elet%C3%B3rico/>. [Acedido em 06 Maio 2013].

- [79] Decreto Lei nº 80/2006 de 4 de Abril - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, 2006.
- [80] C. A. P. dos Santos e L. Matias, Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios (ITE50), Lisboa: LNEC, 2006.