

**TECNOLOGIA DE REVESTIMENTOS EM ZINCO E COBRE NA
ENVOLVENTE EXTERIOR DE EDIFICIOS**

Agradecimentos

Concluído o presente trabalho quero registrar os seguintes agradecimentos:

- Ao Engenheiro José Carlos Campeão pelo interesse demonstrado por este trabalho, a sua disponibilidade, as suas ideias e orientações ao longo deste percurso;
- Aos meus pais por me terem incentivado e apoiado em todos os momentos do meu percurso académico;
- Aos meus irmãos e respetivas famílias, por me terem sempre motivado nos meus objetivos;
- À Lucy por toda a sua paciência, pelas horas em que não a pude acompanhar e por todo o incentivo e apoio que me deu;
- À Eva por todas as vezes que me interrompeu o trabalho em busca de atenção;
- A todos os amigos e colegas de trabalho que me ajudaram de forma direta ou indireta.

Palavras-chave

Zinco, cobre, cobertura, fachada, junta agrafada

Resumo

O presente trabalho refere-se à tecnologia de aplicação de zinco e cobre na envolvente exterior de edifícios. Para este efeito foi efetuada uma pesquisa bibliográfica assente, na sua maioria, em normas técnicas e publicações editadas por produtores e aplicadores destes dois materiais. Procurou-se enquadrar algumas soluções que são comuns noutros países da Europa, principalmente França e Alemanha, com as práticas e legislação existente em Portugal.

A abordagem inicia-se com uma breve referência histórica sobre os metais não ferrosos ao longo do tempo, sua descoberta e evolução até à atualidade. A indicação das suas principais características, fabrico e transformação, são um dado importante para se perceber o seu comportamento quando aplicado em obra. O tema da tecnologia de aplicação na envolvente exterior de edifícios, surge associada a coberturas e fachadas. São referidos os princípios básicos para aplicação dos sistemas em edifícios, destacando-se as pendentes, compatibilidade com outros materiais, formas de fixação, relação com escoamento de águas pluviais, isolamento térmico, comportamento físico e mecânico. O trabalho inclui o estudo de um dos sistemas de revestimento mais usual em Portugal, sistema de Junta Agrafada, incluindo indicações sobre comprimentos e larguras admissíveis, dimensionamento de fixações, montagem em obra e pormenores construtivos. Na parte final do trabalho são referidas as vantagens no uso destes sistemas na recuperação e reabilitação de edifício, assim como uma breve exposição dos custos envolvidos no uso destes materiais no revestimento da envolvente exterior dos edifícios.

Keywords

Zinc, copper, roofing, facade, standing seam.

Summary

This document refers to the technology of zinc and copper application in the exterior surrounding of buildings. For this purpose, a bibliographical research was developed, based mostly on technical standards, producer's publications and applicators of these two materials. We tried to frame some solutions that are common in Europe, mainly France and Germany, with existing practices and Portuguese legislation.

The initial approach begins with a brief historical reference about the non-ferrous metals over time, its discovery and evolution until today. An indication of its main features, manufacture and processing, are important to understand their behavior when applied at building sites. The subject of application technology in engaging outside buildings, it's associated with roofs and facades. We refer the basic principles for application of the systems in buildings, highlighting the pitches, materials compatibility, shaping and relationship with river water flow, thermal insulation, physical and mechanical behavior. The document includes the study of one of the most common insulation systems in Portugal, the Standing Seam system, including details of admissible lengths and widths, mountings dimensioning, assembly on building sites and construction details.

In the final chapter of this document, we refer the advantages of these systems uses in the recovery and rehabilitation of buildings, as well as a brief statement of the costs involved.

Índice

Agradecimentos	iii
Palavras-chave.....	iv
Resumo.....	iv
Keywords.....	v
Summary	v
Índice	vi
Índice de figuras	xi
Índice de quadros.....	xv
Índice de Anexos	xvi
1- INTODUÇÃO.....	1
1.1 - Relevância do tema	1
1.2 - Estrutura do trabalho.....	1
1.3 - Objetivos do trabalho	2
2 – BREVE HISTÓRIA DO USO DOS METAIS NÃO FERROSOS	4
2.1 - Os metais não ferrosos.....	5
2.1.1 - O zinco	5
2.1.2 - O Cobre.....	9
2.2 – Atualidade	13
3 – A MATÉRIA PRIMA, PROCESSO DE FABRICO E TRANSFORMAÇÃO.....	16
3.1 – Características gerais	16

3.2 - Processo de fabrico.....	17
3.3 - Processo de oxidação.....	20
3.4 - Aspetos de superfície.....	21
3.5 - Durabilidade	22
4 – APLICAÇÃO NA ENVOLVENTE EXTERIOR DE EDIFÍCIOS	23
4.1 – Principais aplicações.....	23
4.1.1 - Sistemas de cobertura.....	24
4.1.2 - Sistemas de fachada	25
4.1.3 - Elementos de vedação e escoamento de águas pluviais	26
4.1.4 – Ornamentação e outras aplicações	26
4.2 – Vantagens e desvantagens dos sistemas.....	27
4.3 - Princípios básicos.....	28
4.3.1 - Pendente	28
4.3.2 - Base de suporte.....	30
4.3.2.1 - Contacto com outros materiais	30
4.3.2.2 - Materiais de suporte.....	32
4.3.2.3 - Base de suporte incompatível	32
4.3.2.3.1 – Madeira.....	35
4.3.2.3.2 – Betão	38
4.3.2.3.3 - Painéis Metálicos	38
4.3.3 – Tipos de cobertura e fachada.....	39
4.3.4 - Ventilação	41

4.3.4.1 – Princípio geral.....	41
4.3.4.2 - Efeito da condensação.....	42
4.3.4.3 – Caracterização de espaços de ar.....	46
4.3.4.3.1 – Dispositivos de ventilação.....	49
4.3.4.3.1.1 - Respiro saída/entrada de ar.....	50
4.3.4.3.1.2 - Pingadeira de arranque com furação.....	51
4.3.4.3.1.3 - Pingadeiras de remate lateral.....	52
4.3.4.3.1.4 - Cumeeira de ventilação.....	53
4.3.4.3.1.5 – Fachadas.....	54
4.3.5 – Dilatação e contração.....	55
4.3.5.1 - Dimensionamento.....	57
4.3.6 - Sistemas de fixação.....	59
4.3.6.1 - Presilhas.....	59
4.3.6.2 - Calhas e Perfis.....	60
4.3.6.3 - Parafusos.....	60
4.3.7 - Evacuação de águas pluviais.....	61
4.3.7.1 - Caleiras e Algerozes.....	62
4.3.7.1.1 - Dimensionamento de caleiras e algerozes.....	64
4.3.7.2 - Tubos de queda.....	68
4.3.7.2.1 – Dimensionamento.....	68
4.3.8 – Juntas de dilatação.....	70
4.3.9 - Soldadura.....	75

4.4 – Isolamento Térmico.....	77
4.4.1 - Tipo de isolamento.....	78
4.4.2 – Isolamento térmico em coberturas	78
4.4.3- Isolamento térmico em fachadas.....	79
4.4.4. Coeficientes de transmissão térmica.....	80
5 – ESTUDO DE UM SISTEMA – SISTEMA DE JUNTA AGRAFADA	81
5.1 - Sistema em coberturas	81
5.1.1 - Princípio geral.....	81
5.1.2 - Pendente.....	83
5.1.2.1 - Critérios de dimensionamento.....	83
5.1.3 - Espessuras.....	87
5.1.4 - Cálculo da largura.....	88
5.1.5 - Presilhas de fixação.....	89
5.1.5.1 - Dimensionamento das fixações.....	93
5.1.5.1.1 - Ação do Vento.....	95
5.1.5.1.2 - Ações nas coberturas	96
5.1.5.1.2.1 - Coberturas em terraço.....	96
5.1.5.1.2.2 - Coberturas com vertentes.....	97
5.1.6 - Instalação em obra	97
5.2 - Sistema em fachadas	105
6 – O ZINCO E O COBRE EM OBRAS DE REABILITAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE EDIFÍCIOS.....	111

7 – CUSTO DO REVESTIMENTO EM ZINCO E COBRE.....	114
8 - CONCLUSÕES.....	116
9 – PERSPETIVAS DE FUTURO	117
10 - ANEXOS	118
11 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124

Índice de figuras

Figura 1 - Jean-Jaques Daniel Dony	7
Figura 2 – O decreto imperial, assinado por Napoleão Bonaparte, que concede a exploração de minas a Jean-Jaques Daniel Dony em 1805.....	8
Figura 3 – Catedral de Saint-Paul, Liège, Bélgica	9
Figura 4 – Armas com elementos em bronze	10
Figura 5 - Catedral de Hildersheim – Coberturas e ornamentos em cobre	11
Figura 6 – Estátua da Liberdade – A estátua pesa cerca de 141 toneladas, sendo 113 toneladas da estrutura em aço e 28 toneladas de cobre	12
Figura 7 – Utilizações do zinco.....	14
Figura 8 – Utilizações do cobre	15
Figura 9 – Processo de laminagem	18
Figura 10 – Formação da patine no zinco.....	20
Figura 11 – Cobertura em zinco – Faculdade de Arquitetura do Porto	24
Figura 12 – Fachada em cobre – Centro de Coordenação e Controlo de Tráfego Marítimo e Segurança do Porto de Lisboa	25
Figura 13 – Cúpula revestida em cobre – Palácio da Pena em Sintra.....	27
Figura 14 - Pavilhão Atlântico em Lisboa.....	29
Figura 15 – Filme de polietileno de alta densidade.....	33
Figura 16 – Presilha colocada no filme de PEAD.....	34
Figura 17 – Dimensões dos nódulos.....	34
Figura 18 - – Fluxo de ar entre os nódulos do filme PEAD.....	35
Figura 19 - – Estrutura e forro em madeira.....	37
Figura 20 – Cobertura fria	40
Figura 21 – Cobertura quente	41

Figura 22 – Fatores condicionantes do fenómeno da condensação.....	44
Figura 23 – Cobertura com desvão não ocupado.....	47
Figura 24 – Cobertura com desvão não ocupado.....	47
Figura 25 – Cobertura sobre desvão (habitável ou não).....	47
Figura 26 – Respiro saída/entrada de ar.....	50
Figura 27 – Corte e planta de cobertura dotada de respiros de saída/entrada de ar	51
Figura 28 – Pingadeira de arranque com aberturas para ventilação para coberturas.....	52
Figura 29 – Pingadeiras laterais.....	53
Figura 30 – Cumeeira de ventilação.....	53
Figura 31 – Pormenores de ventilação de fachada.....	54
Figura 32 – Ligação por engate entre dois elementos	56
Figura 33 – Comportamento de uma junta ao longo o tempo	56
Figura 34 - Ábaco para cálculo da dilatação e contração de chapas em zinco	58
Figura 35 – Presilhas de fixação em aço inox AISI 304.....	59
Figura 36 – Parafusos.....	60
Figura 37 – Caleira de beiral com cobertura em telha cerâmica.....	62
Figura 38 – Algeroz	63
Figura 39 – Algeroz em construção com estrutura metálica.....	63
Figura 40 – Pormenor de tubo de ladrão	64
Figura 41 – Caleira de secção semicircular.....	66
Figura 42 – Caleira de secção retangular	67
Figura 43 – Tipo de entrada nos tubos de queda.....	69
Figura 44 – Junta de dilatação tradicional.....	70
Figura 45 – Colocação de junta de dilatação.....	71
Figura 46 – Dimensões de junta de dilatação.....	71

Figura 47 – Colocação de junta de dilatação em diferentes situações	72
Figura 48 – Ábaco para dimensionamento de junta de dilatação.....	74
Figura 49 – marcação de limite da soldadura e decapagem	76
Figura 50 – Utilização de aparelho de soldar para derreter barra de solda	76
Figura 51 - Execução de soldadura.....	76
Figura 52 – Igreja dos Pastorinhos em Alverca – Cobertura em zinco com sistema de Junta Agrafada	81
Figura 53 – Dimensões das chapas de Junta Agrafada	82
Figura 54 – Máquina de perfilar Junta Agrafada	83
Figura 55 – Gráfico de pendentes.....	84
Figura 56 – Pormenor de ressalto de transição entre dois troços de chapa, é visível a continuidade da ventilação no ressalto	86
Figura 57 – Pendentes e comprimentos de chapas para coberturas em cobre	87
Figura 58 – Base da presilha móvel.....	89
Figura 59 – Peça “A” que corre na base da presilha móvel	90
Figura 60 – Presilha fixa	90
Figura 61 – Junta com presilha instalada.....	91
Figura 62 – Presilha móvel engatada na chapa	91
Figura 63 – Distribuição das presilhas.....	92
Figura 64 – Colocação de presilhas.....	98
Figura 65 – Sequencia de montagem e fecho da junta	98
Figura 66 – Máquina de fechar juntas.....	99
Figura 67 – Sequencia do fecho mecânico das juntas do sistema de Junta Agrafada	99
Figura 68 – Corte tipo do sistema Junta Agrafada com caleira de beiral.....	100
Figura 69 – Corte tipo com algeroz e revestimento de platibanda.....	101

Figura 70 – Pormenor de algeroz	101
Figura 71 – Pormenor de guieiro	102
Figura 72 – Remate entre cobertura e chaminé.....	102
Figura 73 – Exemplo de preparação de comprimentos de elementos de capeamento de platibanda	103
Figura 74 – Revestimento de capeamentos e de cornijas.....	104
Figura 75 – Pormenor tipo de fachada ventilada revestida com sistema de Junta Agrafada com juntas na vertical	106
Figura 76 – Pormenor de transição entre cobertura e fachada	107
Figura 77 – Remate entre fachada e capeamento de platibanda.....	108
Figura 78 – Parque de feiras e exposições de Montalegre – Fachadas em zinco com sistema de Junta Agrafada	108
Figura 79 – Pormenor de remate de vão de janela.....	109
Figura 80 – Reabilitação do Teatro Circo de Braga – Coberturas e fachadas em zinco com sistema de Junta Agrafada	112
Figura 81 – Sede do Barclays Bank em Lisboa – Cobertura em Cobre.....	113

Índice de quadros

Quadro 1 – Características do zinco e do cobre.....	16
Quadro 2 – Madeiras compatíveis e incompatíveis	36
Quadro 3 – Valores dos parâmetros a e b.....	65
Quadro 4 – Valores de precipitação (l/min.m ²) para as diferentes regiões pluviométricas	65
Quadro 5 – Comprimentos admissíveis para colocação de juntas de dilatação.....	73
Quadro 6 – Exemplo de cálculo do posicionamento da junta de dilatação	73
Quadro 7 – Composição corrente das barras de solda.....	75
Quadro 8 – Largura comercial de bobines e larguras pós-perfilagem L	82
Quadro 9 – Comprimentos dos elementos de coberturas de junta Agrafada em zinco.....	85
Quadro 10 – Espessuras	88
Quadro 11 – Calculo da largura para cobertura e fachadas em cobre	89
Quadro 12 – Percentagem de redução da resistência das presilhas	94
Quadro 13 – Relação entre desenvolvimento/comprimento de elementos	103
Quadro 14 – Relação entre alturas (H) entre aberturas de ventilação e a sua secção	107

Índice de Anexos

Anexo 1 – Composição da liga de zinco	119
Anexo 2 – Composição da liga de cobre.....	120
Anexo 3 – Curvas de Intensidade – Duração – Frequência aplicáveis a Portugal Continental.....	121
Anexo 4 – Categorias de terreno e respetivos parâmetros	122
Anexo 5 – Coeficiente de exposição	123

1- INTODUÇÃO

1.1 - Relevância do tema

O tema deste trabalho surge na sequência do interesse que desperta nos projetistas e arquitectos a utilização de novas tecnologias no revestimento de coberturas e fachadas. São muito comuns as dúvidas acerca da correta aplicação de zinco e cobre no revestimento da envolvente exterior de edifícios. Estas dúvidas ganham uma importante dimensão e risco, quando surgem em fase de obra. Não existe um conhecimento adequado daquilo que este tipo de trabalho exige em termos de preparação, fabrico e colocação. Muitas questões têm a ver o tipo de materiais de suporte, pendentes, incompatibilidades com outros materiais e comportamento do metal como revestimento de acabamento e impermeabilização. A falta de informação e o acesso à mesma, com fiabilidade e qualidade, é difícil e escassa. Além disso, tratam-se de materiais que têm vindo nos últimos anos a encontrar aplicabilidade não só em edifícios novos como também em obras de recuperação e reabilitação de edifícios, destacadamente em trabalhos de impermeabilização de coberturas.

1.2 - Estrutura do trabalho

O presente trabalho pretende compilar os princípios básicos da tecnologia da aplicação de zinco e cobre na envolvente exterior da envolvente, assim como o estudo de um sistema.

No Capítulo 1 é indicada a relevância do tema, a estrutura do trabalho e os objetivos do mesmo.

O Capítulo 2 apresenta, de forma sucinta, a evolução histórica do uso dos metais não ferrosos desde a sua descoberta até à atualidade.

No Capítulo 3 abordam-se o zinco e o cobre como matéria-prima, características físicas e mecânicas, o seu fabrico e transformação.

O Capítulo 4 abarca todas as indicações e princípios básico da tecnologia da aplicação do zinco e do cobre no revestimento da envolvente exterior de edifícios.

No Capítulo 5 estuda-se o sistema de Junta Agrafada aplicado a coberturas e fachadas, onde se inclui vários pormenores construtivos e de colocação em obra.

No Capítulo 6 é abordado o uso do zinco e do cobre em obras de recuperação e reabilitação de edifícios.

O Capítulo 7 aborda os custos envolvidos neste tipo de acabamento.

Por fim no Capítulo 8 enumera as conclusões deste trabalho e o Capítulo 9 indica perspetivas futuras.

1.3 - Objetivos do trabalho

Os objetivos delineados para o presente trabalho passam por compilar os princípios básicos da tecnologia de revestimentos em zinco e cobre na envolvente exterior de edifícios. Com os elementos recolhidos pretende-se fazer um esclarecimento acerca da forma como estes metais se adaptam e se comportam como elementos de coberturas e fachadas. Existem muitas dúvidas por parte dos intervenientes em projeto e em obra de como se aplicam o zinco e o cobre, nomeadamente os materiais de suporte, pendentes, que isolamento térmico se pode usar ou as dimensões admissíveis. Para além disso não existe informação em Portugal, exceto informação comercial, acerca dos sistemas de cobertura e fachada possíveis de realizar. O tratamento dado a este tipo de trabalho é empírico, baseia-se na experiência de obras anteriores em que a formação dos operários é escassa, assim como a mão-de-obra. As empresas que se dedicam a esta atividade são, na maioria, micro empresas sem recursos de especialistas para se debruçarem sobre aspetos técnicos,

comportamento físico e mecânico e de dimensionamento. Quantificar a quantidade de fixações necessárias, analisar limites de comprimentos de peças devido à dilatação, usar os acessórios adequados ou realizar uma soldadura com qualidade, é muitas vezes negligenciado. Daqui surge a ideia de deixar um documento que abarque as questões técnicas básicas e o estudo de um sistema.

Outro objetivo traçado é o de registar o contributo que estes materiais, o zinco e o cobre, podem dar em intervenções de recuperação e reabilitação de edifícios. A perspetiva atual de que a recuperação do mercado da construção civil se vai apoiar nas obras de reabilitação de edifícios nos próximos anos, levou uma reflexão sobre o papel que estes materiais podem ter no revestimento de coberturas, fachadas e trabalhos de impermeabilização.

Por último desmistificar a ideia de que são materiais de alto custo. É verdade que durante muitos anos aplicar zinco, e principalmente cobre, numa obra tinha um custo muito superior a outros materiais com funções idênticas.

2 – BREVE HISTÓRIA DO USO DOS METAIS NÃO FERROSOS

Ao longo da história, os metais desempenharam um papel importante e decisivo na evolução das civilizações. O conhecimento dos metais e o seu aperfeiçoamento, quer no fabrico quer no uso, permitiu ao homem um desenvolvimento notável a nível físico e intelectual. O uso de metal em vários elementos de ferramentas agrícolas, armas de caça e pequenos utensílios permite ao homem um desenvolvimento em termos de qualidade de vida.

Na classificação do tempo histórico existe a idade dos metais, período que surgiu após a idade da pedra. Nesta fase o homem começa a dominar, à escala possível na altura, as técnicas de fundição dos metais mais fáceis de fundir – o cobre, o estanho e o bronze. Este período da história situa-se cerca de 5 000 a.C., onde se verifica uma evolução assinalável na agricultura desde as bacias hidrográficas dos grandes rios da China e da Índia, passando pelos do próximo Oriente e em toda a Europa do Sul e Central. Este período estende-se até 1000 a.C. e divide-se em três idades diferentes:

- Idade do Cobre
- Idade do Bronze
- Idade do Ferro

Neste intervalo da história o crescimento da população acentuou-se em algumas regiões do Mundo. Mesmo as pequenas cidades tiveram uma forte evolução, tendo mesmo chegado a dominar vastas áreas de território. Aparecem assim as primeiras civilizações que dominaram durante séculos alguns períodos da história mundial. O aparecimento e uso dos metais não são alheios a estes factos históricos. Os metais, através de ferramentas e armas, permitiram um crescimento impar na produção agrícola e artes de guerra.

2.1 - Os metais não ferrosos

Os metais não ferrosos tiveram um papel importante ao longo dos séculos. Foram introduzidos em várias áreas de atividade, seja no fabrico de ferramentas, ornamentos, passando pelo uso na construção em tubagens e revestimento de coberturas.

2.1.1 - O zinco

Os primeiros ornamentos de zinco conhecidos datam de há 2500 anos. A sua análise permite concluir que são bastante impuros, uma vez que o zinco corresponde apenas a 80 a 90 % da sua composição. Consideram-se estes achados arqueológicos como ligas de zinco com chumbo, contendo impurezas de ferro e antimónio.

Nessa época o zinco era sempre combinado com outros elementos, formando ligas, com o cobre por exemplo, obtendo-se assim o latão. Estas ligas metálicas foram utilizadas durante séculos. Há achados de latão que datam de 1000-1400 a.C. que foram encontrados na Palestina e Transilvânia. Devido ao seu baixo ponto de fusão e reatividade química, o metal tende a evaporar-se levando a que nessa altura a verdadeira natureza do zinco não tenha sido compreendida. O fabrico do latão foi dominado pelos Romanos desde 30 a.C.. Este processo era descrito pela obtenção de *aurichalum* (latão) através do aquecimento num cadinho de uma mistura de cadmia (calamina) com cobre. O material obtido era posteriormente fundido ou forjado para fabrico de objetos.

Em 1374 o zinco foi reconhecido na Índia como um novo metal – o oitavo metal conhecido pelo homem até essa data. Em Zawar, Índia, o zinco, usado como metal, e o óxido de zinco, usado em medicamentos, foram produzidos entre os séculos XII e XVI.

Na Europa só no século XVI o zinco é considerado um metal [13]. Após vários séculos de uso no fabrico de bronze, são efetuadas descobertas que permitem indicar o zinco como um

elemento com características diferentes de outros metais. Giorgios Agrícola, considerado o pai da geologia como ciência, observou, em 1546, que se formava um metal branco prateado condensado nas paredes dos fornos nos quais se fundiam minerais de zinco, assinalando nos seus estudos que um metal similar, denominado *zincum*, era produzido na Silésia. Paracelso, médico dedicado à física, astrologia e alquimia, foi o primeiro a sugerir que o *zincum*, era um novo metal e que as suas propriedades eram diferentes dos metais conhecidos, sem, no entanto, dar indicação sobre a sua origem. Em documentos, tratados e estudos posteriores, são frequentes as referências ao zinco.

Em 1743 foi fundado em Bristol, Grã-Bretanha, o primeiro estabelecimento para a fundição do metal em escala industrial. Este acontecimento fez com que o interesse pela produção de metais em grande quantidade tivesse um novo impulso. A sua produção já não era vista como algo rudimentar, com fornos básicos e de baixa capacidade. Em 1746, o químico Andreas Sigismund Marggraf, isolou o elemento zinco através da redução da calamina com carvão vegetal.

No que diz respeito à produção e transformação dos metais, em geral, mas em particular o zinco, a evolução das técnicas de produção foi lenta. A produção aumenta com melhorias introduzidas na linha de fabrico. Até ao século XIX, o zinco é muito utilizado sob a forma de liga, combinando-se com o cobre para formar o latão, ou juntando o cobre com o estanho, para formar o bronze.

Cada metal ou liga, tem as suas vantagens e aplicações próprias. O latão, por exemplo, é apreciado pela resistência à oxidação, facilidade com que é trabalhado e o seu aspeto brilhante. A metalurgia do bronze e do latão desenvolve-se no centro da Europa, na zona que hoje é ocupada pela Bélgica, desde a época celta.

O nascimento de uma indústria de metais não-ferrosos, no centro da Europa, está ligado à existência de jazidas metalíferas (há importantes jazidas de chumbo e zinco concentradas

na região de Vesdre na Bélgica). Estima-se que, apenas no distrito de Vesdre, extraiu-se, ao longo dos séculos, aproximadamente 1 100 000 toneladas de zinco metal e 130 000 toneladas de chumbo. Outros metais estão presentes nas zonas vizinhas. Ainda que numerosas, as jazidas existentes na Europa eram, em geral, bastante limitadas. Mas foram valorizadas desde cedo e desempenharam um papel importante no desenvolvimento económico da região. No início do século XIX, Jean-Jaques Daniel Dony (Figura 1) [20] desenvolveu um procedimento industrial para a extração do metal, construindo-se a primeira fábrica no continente Europeu.



Figura 1 - Jean-Jaques Daniel Dony

Em 1805 é concedido, por decreto imperial assinado por Napoleão Bonaparte (Figura 2) [3], a exploração de minas na região de Vielle Montagne em Moresnet, situado na atual fronteira entre a Bélgica e a Alemanha. Após o desenvolvimento da técnica de flotação do

sulfeto de zinco, desprezou-se a calamina como fonte principal de obtenção do zinco. O método de flotação, é atualmente empregue na obtenção de vários metais.



Figura 2 – O decreto imperial, assinado por Napoleão Bonaparte, que concede a exploração de minas a Jean-Jaques Daniel Dony em 1805

Nesta época já existiam três centros de inovação da indústria do zinco: Carinthie (Áustria), Silésia (atual Polónia) e país de Liege, regiões onde se encontravam importantes jazidas de zinco. A verdadeira dificuldade que Dony teve que enfrentar foi o desenvolvimento muito lento do mercado do zinco. No entanto o seu uso era já corrente em coberturas de edifícios, nomeadamente em igrejas (Figura 3) [3], e nos centros urbanos, em especial Paris.

A sua produção em grandes quantidades é consolidada na 2ª metade do século XX, com a exploração de várias jazidas de zinco em diversos pontos do Mundo. Desde a Europa, passando pela América do Norte, África, em especial no Congo Belga, a extração do minério é inseparável da produção do zinco, tanto em lingotes como em chapas, para uso

na construção. As maiores empresas de fabrico de zinco possuem a concessão de exploração das jazidas, baixando assim o custo do material, para que possa competir com outros de uso mais corrente.



Figura 3 – Catedral de Saint-Paul, Liège, Bélgica

2.1.2 - O Cobre

O cobre e o ouro são os metais mais antigos que o homem conhece. No ocidente os achados mais antigos de peças em cobre localizam-se na Ásia Menor, particularmente na Turquia e Irão, com uma idade superior a 9000 anos. Estas peças possuem pequenas quantidades de cobre e são, na sua maioria peças ornamentais, tais como colares, anéis, pulseiras e pentes.

No final do Neolítico, com o início da idade do cobre, os métodos básicos de extração e fundição do referido metal conhecem um desenvolvimento lento, mas capaz de produzir peças de grande utilidade para o homem. No final de alguns séculos de uso de cobre,

descobriu-se que este podia ser retirado de vários minerais por meio de fusão em fornos adequados e que permitissem a insuflação de oxigênio, permitindo temperaturas superiores a 1000 °C. Os minerais empregues na fundição do cobre eram carbonatos de cobre, que finalmente se fundiam a partir do momento em que se atinge a temperatura ideal. A par desta característica do cobre, descobre-se que este pode ser refundido com igual facilidade e inicia-se a produção de lingotes para os usos mais diversos. O cobre tem como característica a sua maleabilidade e ductilidade, que permite o fabrico de peças de várias formas, assim como folhas de pouca espessura. Estas folhas são trabalhadas com um martelo, dando-lhe a forma desejada para os mais diversos fins.

Em algumas zonas do mundo, nomeadamente na Índia e na China, o cobre, juntamente com o estanho, dá origem a outro material, o bronze (Figura 4) [30]. Esta liga apresenta uma maior dureza, maior resistência à corrosão e com menor ponto de fusão.



Figura 4 – Armas com elementos em bronze

Em 125 d. C., no tempo do imperador Adriano, os Romanos utilizaram o cobre para revestir a cúpula (em “betão leve” aligeirada com caixotões decorativos) do Panteão. Este

revestimento terá sido substituído por chumbo no ano de 735, no tempo do papa Gregório III. Construídas durante a Idade Média, na Europa Central e do Norte [10], diversas igrejas e catedrais possuíam cobre revestindo coberturas, em tubos de queda para águas pluviais e em revestimento de portas. Como exemplo de uma antiga cobertura em cobre que chegou até aos nossos dias, existe a Catedral de Hildersheim (Figura 5) [18] erigida em 1280.

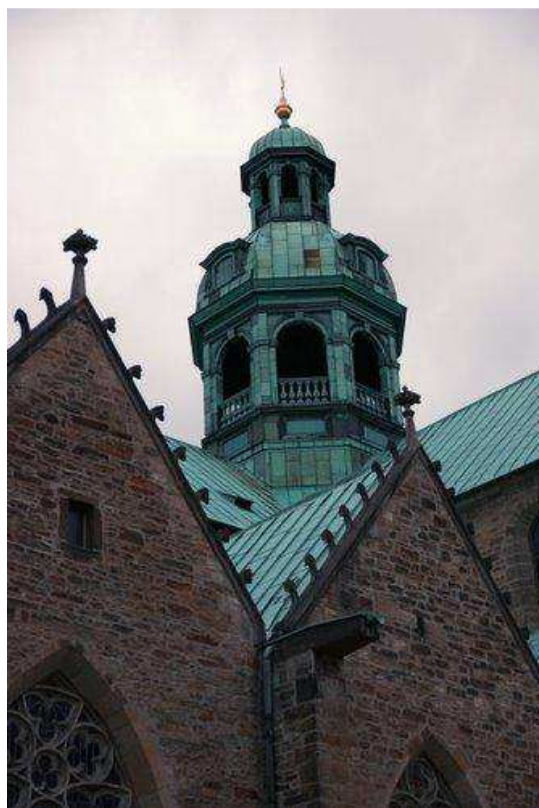


Figura 5 - Catedral de Hildersheim – Coberturas e ornamentos em cobre

No século XVIII o domínio das técnicas dos fornos e a exploração das jazidas da Cornualha e Devonshire, deram à Grã-Bretanha destaque na indústria de cobre. Por volta de 1850 eram aí produzidas aproximadamente 12000 toneladas de cobre por ano, equivalente a 40% do total mundial. O esgotamento progressivo das minas locais, levou os britânicos a assumirem o controlo das jazidas de cobre no Chile e em Espanha. Nessa

mesma altura, a indústria norte-americana de cobre inicia a exploração de minas em Michigan, numa escala industrial. No início, apenas os minérios pobres foram tratados localmente. O restante alimentava as fundições da Grã-Bretanha. Por volta de 1880 os Estados Unidos começaram a explorar as suas jazidas localizadas nos estados de Montana e Arizona, tornando-se assim o mais importante produtor mundial de cobre. Foi precisamente nesse momento que o consumo de cobre explodiu, paralelamente ao desenvolvimento da eletricidade. Nessa época o cobre mostra-se como um excelente condutor, sendo também muito dúctil, podendo ser estirado em fios extremamente finos. A produção mundial passa de 1 milhão de toneladas na década de 1860 a, aproximadamente, 7 milhões de toneladas entre 1901 e 1910 [3].

No decorrer do século XX o cobre assume-se como um material de excelência em várias áreas de atividade tais como a decoração, a eletricidade, moeda, componentes de máquinas e automóveis, construção, passando até pelas artes, onde é, juntamente com o bronze, um material muito apreciado.



Figura 6 – Estátua da Liberdade – A estátua pesa cerca de 141 toneladas, sendo 113 toneladas da estrutura em aço e 28 toneladas de cobre

[1]

2.2 – Atualidade

Com a evolução dos processos de fabrico e transformação, o zinco e o cobre estão hoje ligados a variados usos nas mais diversas atividades. Na construção de edifícios são materiais que fazem parte das soluções correntes quer em termos de arquitetura, revestimentos e impermeabilizações, quer em componentes de instalações elétricas, redes de abastecimento de água, redes de gás ou ar condicionado.

Assim sendo, pelas suas características, estes dois metais adequam-se aos mais variados usos. As suas aplicações não se limitam a produtos a incorporar na construção, longe disso. O zinco e o cobre possuem características que os colocam em vários produtos destinados a outros fins. O zinco é utilizado sob diversas formas para várias utilizações, tais como [25]:

- Metal de sacrifício na galvanização de aço;
- Fabrico de ligas destinadas à fundição de peças;
- Pigmento para tintas;
- Indústria do vidro;
- Fabrico de pilhas;
- Indústria de borracha e cerâmica;
- Produtos agrícolas e rações para animais;
- Componente de medicamentos e cosméticos;
- Tratamento de água;
- Zinco laminado para uso na construção civil.

De uma forma geral, o uso do zinco divide-se por seis atividades conforme indicado na Figura 7 [42].

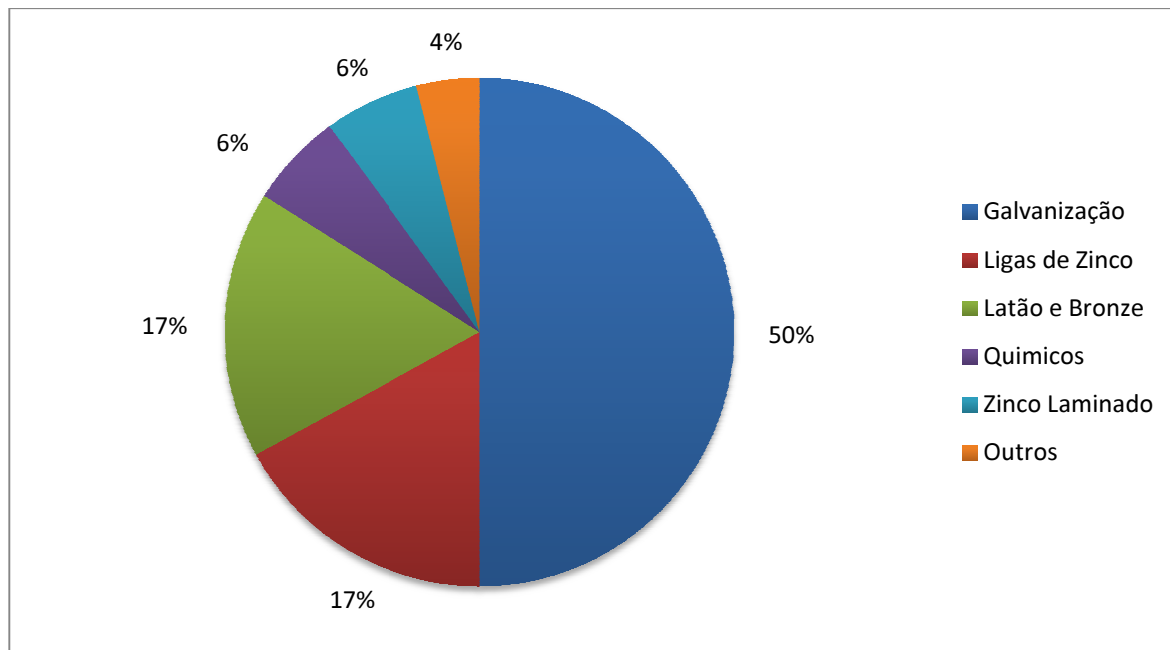


Figura 7 – Utilizações do zinco

O cobre é um dos metais mais usados em todo o mundo, em várias áreas [10]:

- Cabos elétricos de baixa, média, alta tensão e redes de telecomunicações;
- Equipamentos eletrônicos, circuitos, conectores e componentes de *hardware*;
- Componentes de motores de veículos automóveis, incluindo, veículos elétricos / híbridos;
- Fabrico de componentes de comboios, navios e aviões;
- Tubagens e acessórios para redes de abastecimento de água, gás, aquecimento e ar condicionado;
- Fabrico de células fotoelétricas;
- Produtos medicinais;
- Revestimento antibacteriano de objetos e acessórios hospitalares;
- Fabrico de moeda;
- Cobre laminado para uso na construção civil.

Os principais usos estão distribuídos por diversas atividades, como se pode verificar na Figura 8 [17].

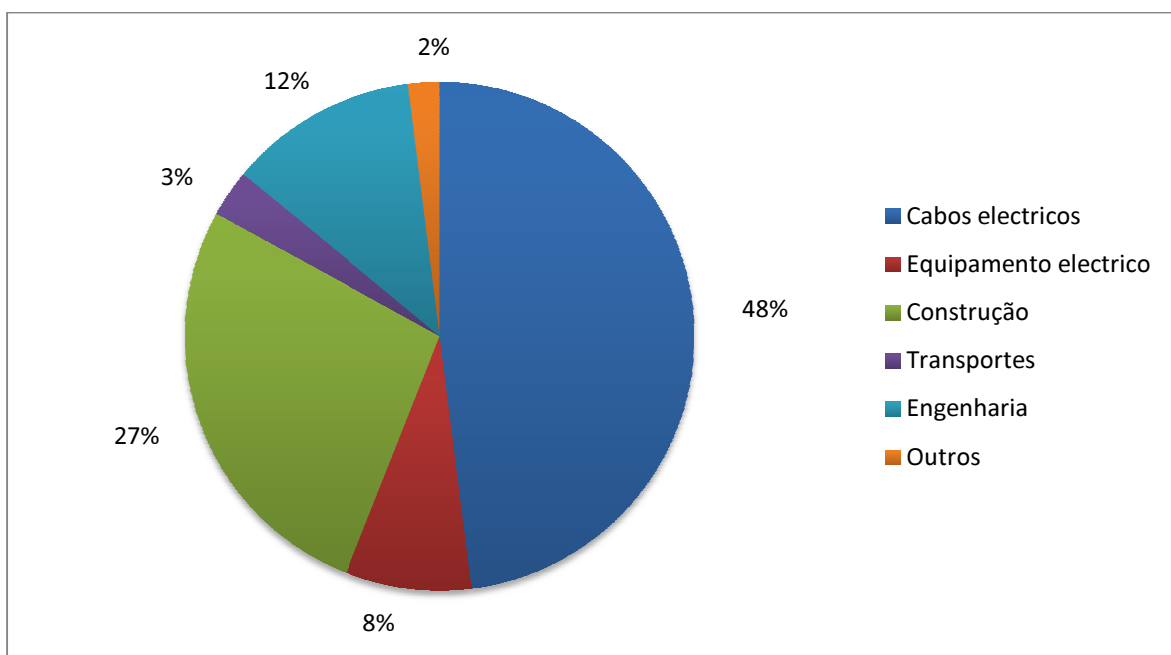


Figura 8 – Utilizações do cobre

3 – A MATÉRIA PRIMA, PROCESSO DE FABRICO E TRANSFORMAÇÃO

3.1 – Características gerais

O zinco, quando novo, possui um aspeto brilhante, com cor cinza azulado. Apresenta-se frágil quando frio, mas é bastante maleável e dúctil a partir de temperaturas de 100°C a 150°C. É muito eletropositivo e facilmente atacado por ácidos. Quando exposto ao ar húmido, oxida e cobre-se com uma fina camada protetora de hidrogenocarbonato.

Por sua vez o cobre é um metal de cor vermelho acastanhado, bastante maleável e dúctil, mesmo à temperatura ambiente. Tem como principal característica a elevada condutibilidade térmica e elétrica, só ultrapassado pela prata. Possui uma reatividade química baixa, não sendo atacado senão pelo ácido nítrico e pelo ácido sulfúrico a quente. Quando exposto ao ar, fica coberto por uma camada de carbonato básico, de cor verde.

Como características gerais, o zinco e o cobre apresentam as seguintes:

Característica	Zinco	Cobre
Símbolo químico	Zn	Cu
Número atómico	30	29
Massa atómica	65,38	63,54
Série química	Metal de transição	Metal de transição
Ponto de fusão	419,50°C	1083.40°C
Condutibilidade térmica	110 W/m.°C	380 W/m.°C
Peso específico	7 140 kg/m ³	8 930 kg/m ³
Coefficiente de dilatação	2,2 mm/m/ 100°C	1,7 mm/m/ 100°C
Módulo de elasticidade	108 GPa	130 GPa
Coefficiente de Poisson	0,25	0,34
Espessuras (produtos laminados) (mm)	0,65; 0,70; 0,80; 1,00	0,60; 0,70; 0,80; 1,00
Permeabilidade à água	Impermeável	Impermeável
Permeabilidade ao vapor de água e ao ar	Impermeável	Impermeável
Libertação de substâncias perigosas	Não liberta	Não liberta

Quadro 1 – Características do zinco e do cobre

[43] [23]

3.2 - Processo de fabrico

Como se verifica, estes dois metais chegam ao mercado nas mais diversas formas e configurações. É importante ter em conta que o zinco e o cobre colocados no mercado, não se encontram no estado puro, ou seja, são ligas. A composição da liga inclui outros metais que lhe servem de complemento e conferem outro tipo de características, dependendo do uso a que se destinam. No caso do zinco e cobre laminados, a adição de alumínio, titânio, chumbo ou fósforo, como exemplos, permite que se transformem em variadíssimas peças de dimensões e configurações diferentes.

Após todo o processo de extração, transporte, recolha em fábrica e preparação para a fundição, existe o processo de laminagem. Este último processo transforma a mistura de vários metais, com percentagens bem definidas, numa pasta que se irá converter numa lâmina com uma espessura reduzida.

Ao longo dos anos, o processo de laminagem foi evoluindo de tal forma que permite, nos dias de hoje, produzir milhares de toneladas num curto espaço de tempo. Pode-se dizer que é uma indústria importante na economia mundial, movimentando vários sectores, como a extração mineira, transportes, laminagem, colocação no mercado, empregando milhares de pessoas em todo o mundo. É de assinalar o aparecimento nos últimos anos, em consequência das crescentes preocupações ambientais, de um mercado destinado à reciclagem e reaproveitamento destes dois metais.

Segundo Borges [2], o processo de laminagem (Figura 9) é similar tanto para zinco como para o cobre. Este processo, consiste em transformar uma barra, lingote, placa ou fio, numa lâmina trabalhável e de reduzida espessura. O metal, juntamente com outros metais que mais à frente serão mencionados, depois de fundido em fornos apropriados e à temperatura adequada, é transformado numa pasta. Esta pasta é moldada e arrefecida até se transformar num rolo do material com aproximadamente 1,10 m de largura e 14 mm de

espessura. Esta banda é levada a passar por um conjunto de cilindros, que rodam entre si, que a vão reduzindo por pressão a sua espessura, até atingir a dimensão pretendida, normalmente entre 0,5 mm e 1,0 mm. A etapa seguinte é o corte para enrolamento em bobines com cerca de 1000,00 kg, em larguras e espessuras nas medidas comerciais *standard* que se comercializam, ou corte em chapas de 2,00 m x 1,00 m.

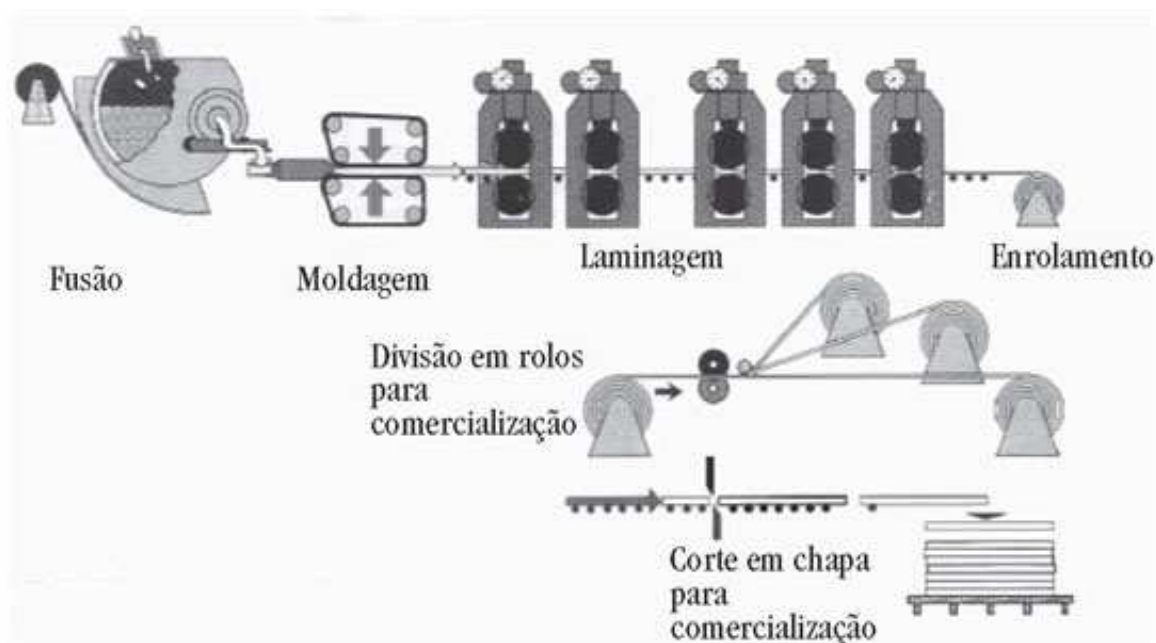


Figura 9 – Processo de laminagem

A acompanhar este processo, existe um rigoroso controlo de qualidade de forma a garantir o cumprimento das normas vigentes, EN 988 para o zinco e EN 1172 para o cobre, para que estas ligas apresentem as características e comportamentos desejados. Um dos principais fatores que contribui para o aumento do uso destes dois metais na construção, é a diversificação da oferta. Os produtores fizeram nos últimos 20 a 30 anos, um investimento e um trabalho notável na promoção do uso de zinco e cobre, na construção de edifícios. A cada ano que passa a oferta de novos produtos, principalmente para fachadas, é um mercado seguro. Por isso é justificada a preocupação a nível do controlo da qualidade, pois existem no mercado materiais alternativos a custos competitivos. No

entanto, o conhecimento da história da aplicação do zinco e do cobre, permite assegurar no produto final, uma fiabilidade e durabilidade quase impar entre os materiais de construção.

As vantagens são inúmeras, das quais se destacam:

- Longo tempo de vida útil;
- Elevada resistência à corrosão;
- Facilidade de trabalhar, cortar, perfilar, dobrar e quinar;
- Material de envelhecimento natural, sem pôr em causa as suas qualidades;
- Material que ao oxidar se auto protege;
- Material totalmente reciclável;
- Esteticamente apreciado em construção nova ou reabilitação de edifícios;

A composição destas ligas, como já referido, é variável em função do uso a que se destina. Contudo as ligas usadas na construção, em particular em coberturas e fachadas, possuem características bem definidas. Devem proporcionar uma boa trabalhabilidade, de forma a serem facilmente perfiladas, dobradas e quinadas, ou seja, a maleabilidade é um aspeto fundamental para esta capacidade. Como metais, possuem elevados índices de condutibilidade térmica e de elasticidade. A composição da liga de zinco conforme EN 988 é a seguinte:

- Zinco 99,995 %
- Cobre 0,08 a 1,00 %
- Titâneo 0,06 a 0,2 %
- Alumínio $\leq 0,015$ %
- Chumbo, Cádmio, Ferro, Estanho e impurezas $\leq 0,006$ %

No Anexo 1, segundo um estudo efetuado por Ramos (2011) [26], é indicada a composição de uma liga de zinco laminado.

Composição da liga de cobre conforme norma EN 1652:

- Cobre 99,90 %
- Fósforo 0,015 a 0,040 %
- Prata percentagem reduzida

No Anexo 2 [23] encontra-se uma ficha de conformidade de bobines de cobre.

3.3 - Processo de oxidação

O contacto dos metais não ferrosos com o ar, a sua oxidação, levando à formação do que vulgarmente se chama de “patine “, tem a função de proteger o metal sem colocar em causa as suas características físicas e mecânicas. Esta patine, que não é mais do que o envelhecimento do metal, altera substancialmente o aspeto inicial do material.

O zinco inicialmente apresenta-se bastante brilhante, perdendo essa característica ao fim de 3 a 4 dias, passando a apresentar uma cor cinza claro com aspeto mate. Ao fim de algumas semanas, 4 a 6, a cor cinza fica mais escura. Este processo pode ser mais rápido se houver chuva, nos primeiros dias após a sua colocação em obra. No zinco o fenómeno dá-se e acordo com o esquema apresentado na Figura 10 [34].

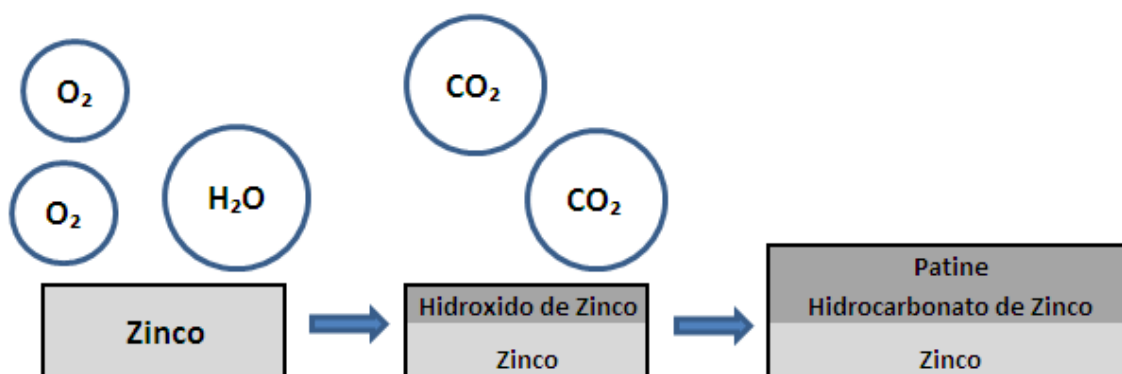


Figura 10 – Formação da patine no zinco

A equação química deste fenómeno é a seguinte:



O desenvolvimento da patina no cobre, leva a que o material apresente uma variação no seu aspeto que vai desde o dourado, numa fase inicial, castanho-escuro, até ao típico verde que se vê em diversas construções com mais anos. Quando exposto ao ar atmosférico, forma-se óxido de cobre que faz com que este escureça até ficar castanho e sem brilho. Ao longo dos anos a superfície vai escurecendo cada vez mais, e com a ação da humidade e da chuva, as partículas de sulfato de cobre da patina castanha passa a ter uma tonalidade verde.



Este processo é lento e pode demorar 10 a 15 anos em zonas costeiras, 5 a 8 anos em zonas industriais, 20 a 25 anos em meios urbanos e até 30 anos em meio rural.

À semelhança do zinco, todo este processo não põe em causa as características e o desempenho do metal.

3.4 - Aspetos de superfície

A oxidação permite ao metal apresentar vários aspetos de superfície ao longo da sua vida útil. Atentos a esta situação e motivados por solicitações de vários arquitectos e projetistas, os produtores de zinco e cobre laminados disponibilizam uma gama de aspetos de superfície. No caso do zinco a oferta vai desde aspeto oxidado, ou seja, cinza escuro, passando por tonalidades mais escuras, como o preto. Existe uma gama de lacados com duas cores diferentes nas faces.

Em relação ao cobre a oferta no mercado é idêntica e vai desde o aspeto oxidado, com tonalidade de castanho-escuro, até à de aspeto verde como se o cobre tivesse dezenas de anos. Estes processos de “envelhecimento” são realizados em fábrica, com processos químicos adequados e devidamente controlados, sem que fique em causa o desempenho dos materiais ao longo do tempo.

3.5 - Durabilidade

A expectativa em volta da durabilidade destes dois metais é enorme. O facto de não sofrerem alteração das suas características mecânicas ao longo do tempo, faz com que lhes seja associada uma longa vida útil. O cobre é um material com uma durabilidade que se pode classificar de eterna. É sempre arriscado uma afirmação deste tipo, mas a verdade é que raramente se depara com uma situação de corrosão ou degradação do cobre. Podem existir deficiências na aplicação em obra que provoquem dano no material, mas no que diz respeito ao material em si, não se regista qualquer anomalia.

No que se refere ao zinco, já não se pode dizer o mesmo. A sua durabilidade está porém bastante acima de grande parte dos materiais. A resistência à corrosão é um fator determinante, no entanto implica cuidados adicionais em comparação com o cobre. Aliás a sua utilização secular permite medir no tempo a sua vida útil, ou pelo menos indicar de forma segura uma expectativa [7].

- Meio rural 90 a 120 anos;
- Meio urbano 50 a 60 anos;
- Meio marítimo 40 a 70 anos;
- Meio industrial 40 anos.

Todavia existem milhares de toneladas de zinco aplicadas em todo o mundo, em que este tempo de durabilidade se encontra ultrapassado em larga medida.

4 – APLICAÇÃO NA ENVOLVENTE EXTERIOR DE EDIFÍCIOS

4.1 – Principais aplicações

Em Portugal tornou-se muito relativamente comum a aplicação do zinco e do cobre em obras de construção, sejam públicas ou privadas. No entanto é oportuno referir que ao longo dos anos houve uma tendência do uso dos metais não ferrosos preconizada por arquitetos formados, principalmente, na Faculdade de Arquitetura do Porto. A proximidade que existiu com a fábrica de zinco laminado em Portugal, que laborou na zona de Matosinhos desde 1948 até 1990, permitiu que arquitetos de renome adotassem estes materiais nos seus projetos, principalmente em coberturas. A cobertura “camarinha”, como ainda hoje é conhecida, foi um impulso no uso do zinco na construção, arrastando mais tarde o uso de cobre para as mesmas soluções de revestimento. O facto de arquitetos como Álvaro Siza Vieira ou Eduardo Souto Moura utilizarem o zinco e o cobre em elementos de cobertura, rufagens e acessórios de evacuação de águas pluviais, levou a um aumento no uso destas soluções por parte de inúmeros projetistas e arquitetos. Os projetos a cargo do estado também tiveram um contributo importante para este crescimento, nomeadamente, em projetos de escolas, museus, quartéis, prisões, bancos e muito em especial no restauro de monumentos. O cobre sempre foi um material nobre tendo uma grande aplicação na recuperação e reabilitação do património nacional, nomeadamente, em igrejas, mosteiros, palácios, castelos e outros edifícios classificados, por ser um material de muito elevada durabilidade e fiabilidade.

A aplicação de zinco e cobre na construção, como já referido, é usual em várias zonas de um edifício. Estes dois materiais assumem particular interesse quando usados no revestimento da envolvente exterior particularmente em coberturas e fachadas. Existem no mercado, várias técnicas de aplicação promovidas pelas empresas produtoras destes metais laminados. Os sistemas de cobertura e, principalmente, de fachada, têm evoluído nos

últimos anos. Com a melhoria em termos de qualidade das ligas que compõe os sistemas e com as adaptações eficazes a sistemas de fachada, existe uma oferta alargada de soluções.

4.1.1 - Sistemas de cobertura

O principal objetivo é tornar a cobertura impermeável, integrando os elementos de escoamento de águas pluviais, nomeadamente, caleiras, algerozes e tubos de queda. São sistemas que usam elementos perfilados ou quinados a partir de uma bobine de largura *standard*, formando elementos que se chamam chapas ou bandejas, que se encaixam entre si formando um revestimento totalmente impermeável.

Possuem uma boa versatilidade, adaptando-se a diversas formas de cobertura, sendo estas planas, inclinadas ou curvas.



Figura 11 – Cobertura em zinco – Faculdade de Arquitetura do Porto

[5]

4.1.2 - Sistemas de fachada

Os sistemas de fachadas são tecnicamente idênticos ao das coberturas, com as devidas adaptações para remates de vãos e outros elementos característicos da envolvente vertical exterior. As técnicas de aplicação em fachadas contemplam soluções que vão desde as aplicadas em coberturas, passando por sistemas compostos por painéis constituindo fachadas ventiladas. Estes painéis podem ter várias medidas sendo aplicados sobre estrutura de suporte em perfis metálicos ou de madeira devidamente tratada.

Segundo Dutra (2010) [9] existem várias definições para fachadas ventiladas no entanto a que se adapta mais aos sistemas em zinco e cobre é a dada por Otto Wagner em 1888 que concluiu ser possível utilizar placas de pequena espessura de materiais mais nobres para melhorar o aspeto externo dos edifícios.



Figura 12 – Fachada em cobre – Centro de Coordenação e Controlo de Tráfego Marítimo e Segurança do Porto de Lisboa

[13]

4.1.3 - Elementos de vedação e escoamento de águas pluviais

O termo funilaria é cada vez menos usado no vocabulário da construção civil, mas tem uma importância relevante na construção. Todo o trabalho que passa por dotar as coberturas de telha cerâmica, com elementos em zinco ou cobre para vedar ou revestir chaminés, respiros ou claraboias passa por esta atividade de grande tradição em Portugal desde há 100 anos. O que vulgarmente se denomina de rufos, guieiros, larós capeamentos de muretes ou guarda-fogos, está englobado neste tipo de trabalho em que os materiais por excelência são o cobre e o zinco. Os trabalhos em obra com estes materiais, ficam facilitados com a possibilidade de várias operações de corte, dobragem, quinagem e soldadura sem pôr em causa o seu bom desempenho e durabilidade.

Assim sendo o zinco e o cobre são empregues na execução de caleiras, algerozes e tubos de queda sendo usados em vários tipos de cobertura seja de telha cerâmica, painéis *sandwich* ou de telas asfálticas.

4.1.4 – Ornamentação e outras aplicações

É vulgar a sua aplicação em ornamentos tais como mansardas, peças estampadas, gárgulas e outros elementos muito característicos em edifícios do século XIX. É comum verificar-se a utilização de zinco e cobre no revestimento de zonas com forte curvatura como seja cúpulas de edifícios.



Figura 13 – Cúpula revestida em cobre – Palácio da Pena em Sintra
[21]

4.2 – Vantagens e desvantagens dos sistemas

O desenvolvimento deste mercado, resulta de uma procura por parte dos projetistas de soluções fiáveis e duradouras. As razões para uma crescente aplicação destes sistemas podem ser encontradas na busca de novas formas e conceitos de arquitetura. A envolvente exterior é cada vez mais o cartão-de-visita de um edifício. A comunicação com o observador, pode começar naquilo que uma fachada pode mostrar. Por isso assiste-se a uma procura destes sistemas, que podem apresentar várias vantagens, não só no plano da arquitetura como também no plano da engenharia, nomeadamente:

- São sistemas leves que não sobrecarregam as estruturas;

- São sistemas compostos por elementos prefabricados;
- Adaptam-se a várias formas de arquitetura;
- São usados frequentemente em reabilitação de edifícios;
- São sistemas globais de impermeabilização;
- Permitem isolamento térmico da envolvente pelo exterior;
- Permitem soluções de revestimento em fachadas ventiladas.

Como pontos menos favoráveis em relação a outros materiais destacam-se:

- Exigência de mão-de-obra especializada;
- Ao longo de vários anos foram sistemas muito caros.

4.3 - Princípios básicos

4.3.1 - Pendente

Em revestimento de coberturas a pendente mínima aconselhável para estes sistemas é 5 %. Esta inclinação tem em conta que o processo de ligação entre os diferentes elementos é por engate, sobreposição e, pontualmente, com soldadura. Parte também do princípio que a água escoar por gravidade aproveitando a pendente criada. Evitam-se ligações rígidas entre elementos com o recurso a parafusos, soldaduras, colas ou silicones. Daqui resulta que o valor adotado para a pendente é um aspeto importante. No entanto, a prática em Portugal mostra que se trabalha em obra com pendentes abaixo daquele valor, usando 2 % como mínimo. Esta situação tem a ver com uma perspetiva economicista e de concorrência com outras soluções, nomeadamente, as telas asfálticas ou de PVC. A pendente recomendada para o uso de telas é de 2%, sendo usados correntemente valores inferiores, e por isso os aplicadores de zinco e cobre adotam esse valor para não aumentar os custos

com execução de pendentes, como por exemplo com betão leve, argamassa ou estruturas de apoio metálicas ou de madeira.

No entanto em toda a bibliografia disponibilizada pelos fabricantes a pendente mínima é de 5 % admitindo-se a possibilidade de adotar 2 % quando as chapas não ultrapassam os 3,00 m de comprimento. Embora o valor de 5 % pareça exagerado, tem de se ter em atenção que estes sistemas são, na sua maioria, oriundos de países onde uma significativa parte do território tem invernos rigorosos com presença de neve, o que promove este valor de pendente.

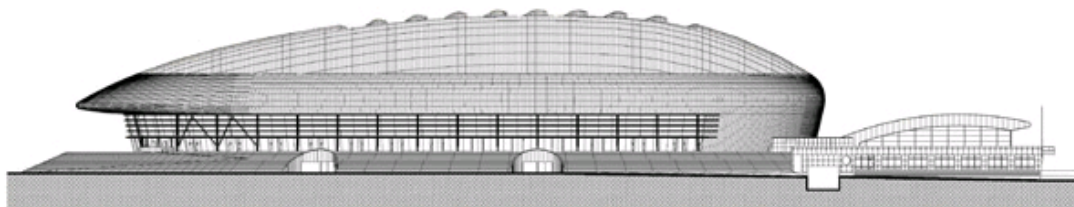


Figura 14 - Pavilhão Atlântico em Lisboa

[22]

A definição da pendente passa pela forma do edifício, sendo assim uma responsabilidade do projetista. Esta pendente condiciona o comprimento dos elementos, como se tratará mais à frente neste trabalho. No entanto é de registar que estes sistemas de coberturas e fachadas se adaptam às mais variadas configurações de edifício, sejam superfícies curvas ou com bastantes ângulos, por vezes com acentuada transição de pendente. Os sistemas constituídos por elementos de pequena dimensão, por exemplo com peças sobrepostas em forma de losangos ou soletos, exigem pendentes maiores próximas das que se usam para telhas cerâmicas.

4.3.2 - Base de suporte

A base de apoio, em coberturas, deve proporcionar uma base sólida, uma superfície regular, contínua, sem ondulações, sem concavidades e convexidades. Em fachadas os princípios são os mesmos, acrescentando a possibilidade de recurso a sistemas que se apoiam em perfis metálicos ou de madeira.

4.3.2.1 - Contacto com outros materiais

A utilização destes materiais em edifícios, exige o cumprimento de princípios básicos que devem ser respeitados, a fim de não colocarem em causa o seu desempenho. Existem diferenças em termos de comportamento do zinco e do cobre, nomeadamente no contacto com outros materiais. O cobre tem uma resistência ao ataque por outros materiais, superior ao zinco. Este dado é relevante e as técnicas de aplicação destes metais evoluíram no sentido de os defender de qualquer ataque ou dano, potenciando a sua durabilidade natural.

É vulgar observar-se em edifícios patologias resultantes da interação de diferentes metais por reações galvânicas. O cobre por exemplo tem um potencial elétrico elevado e não é atacado por outros metais quando em contacto com estes. No entanto o cobre pode provocar a corrosão do aço, alumínio e do zinco se houver contacto direto com estes metais e a presença de um eletrólito, como a água. Todos os metais em contacto com o cobre têm de estar protegidos por pintura, lacagem ou ser em aço inox.

Por sua vez o zinco é mais sensível ao contacto com outros metais. Indicam-se como exemplo os seguintes [31]:

- Cobre – não pode haver contacto direto com o zinco, nem existir escoamento de água de uma superfície em cobre para uma de zinco;
- Chumbo – é compatível;
- Aço galvanizado – o aço em contacto com o zinco terá sempre de estar protegido por galvanização; os elementos metálicos podem posteriormente ser pintados ou lacados mas devem passar sempre por um processo de proteção primária;
- Aço inox – O aço inox é o metal mais utilizado nos acessórios de fixação tais como presilhas, calhas e parafusos; o aço inox austenítico é o recomendado;
- Alumínio – É compatível com o zinco e é usado em perfis estruturais de suporte em fachadas; recomenda-se que esteja lacado de forma a garantir durabilidade.

A base de apoio pode ser executada nos seguintes materiais:

- Madeira ou derivados de madeira;
- Betão;
- Argamassa de cimento;
- Painéis metálicos;
- Estruturas de suporte em perfis de aço.

4.3.2.2 - Materiais de suporte

O suporte em madeira é, por excelência, a solução preconizada na maioria das coberturas e fachadas a revestir em zinco. Esta situação verifica-se principalmente nos países do norte da Europa, onde o uso da madeira como material estrutural é mais comum. Em Portugal não é a prática corrente. Verifica-se que a base de suporte é a própria estrutura de betão ou paredes de alvenaria rebocada, sem estrutura secundária de suporte seja em madeira ou perfis metálicos. De salientar que grande parte das coberturas existentes no norte da Europa possui pendentes elevadas, que normalmente são executadas com estrutura de madeira criando um desvão que pode ou não ser ocupado. Em Portugal este tipo de sistema é, maioritariamente, adotado em coberturas de baixa pendente que, pelas razões já expostas, evitam o recurso a estruturas secundárias de apoio ao revestimento de zinco ou cobre. No entanto existe atualmente uma maior abertura para a colocação de estruturas secundárias de apoio, seja em coberturas ou fachada com perfis de madeira ou metálicos. Tendo em conta a diversidade de materiais que compõe a base de suporte e, na maior parte das vezes, a ausência do controlo de componentes nocivas ao zinco ou ao cobre é necessário criar uma separação entre a face interior do metal e o suporte.

4.3.2.3 - Base de suporte incompatível

O contacto com a base de suporte incompatível é evitado com a colocação do filme de polietileno de alta densidade (PEAD), formada por nódulos com uma altura próxima dos 8 mm. Fica assim salvaguardada a possibilidade de ataque por parte do material da base ao metal de revestimento. Para além desta função, a película facilita a drenagem de eventuais condensações que se formem na parte inferior do metal conduzindo-os até à caleira de drenagem das águas pluviais. Por outro lado, por se tratar de um espaço ventilado através

da passagem de ar entre os nódulos, a humidade resultante da condensação pode ser totalmente dissipada.

O filme de PEAD tem as seguintes características [6]:

- Polietileno de alta densidade (a cor varia em função do fabricante, pode ser cinza, preta, castanha ou azul);
- É fornecido em rolos que variam entre os 40 m² (2,00 x 20,00 ml) e os 60 m² (2,00 x 30,00 ml);
- Pesa 580 g/m²;
- Um dos lados possui uma banda sem nódulos para permitir a sobreposição da película seguinte;
- A espessura do filme é de 0,60 mm (mínimo) com nódulos de 8,6 mm de altura e separados entre si de 19,50 mm;
- Tem de assegurar uma estabilidade dimensional em temperaturas compreendidas entre os - 30°C e os 80°C;
- Capacidade de carga 400,00 kN/m², segundo a norma EN ISSO 604;
- Volume de ar entre nódulos de 7,9 l/ m²;

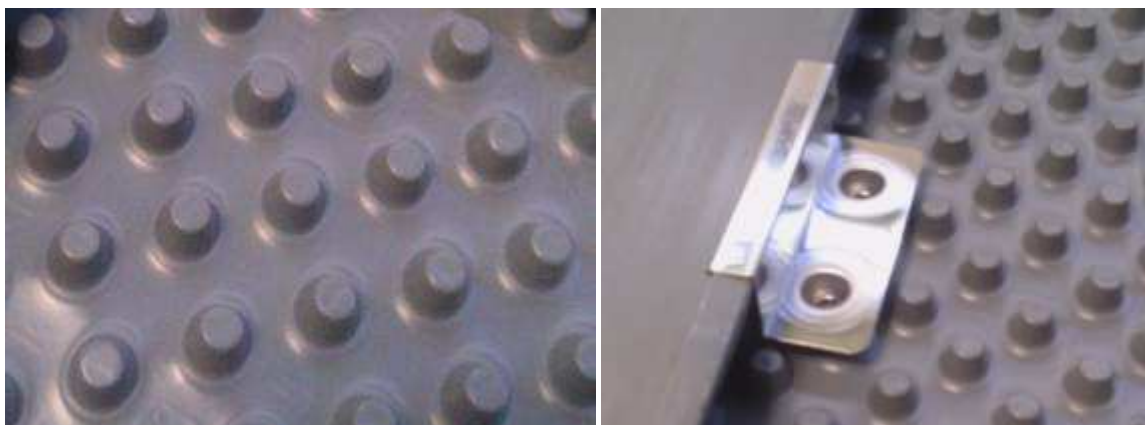


Figura 15 – Filme de polietileno de alta densidade

Os nódulos permitem o encaixe das presilhas de fixação dos sistemas. As presilhas possuem concavidades na zona de aplicação do parafuso de aperto e encaixam entre os nódulos.

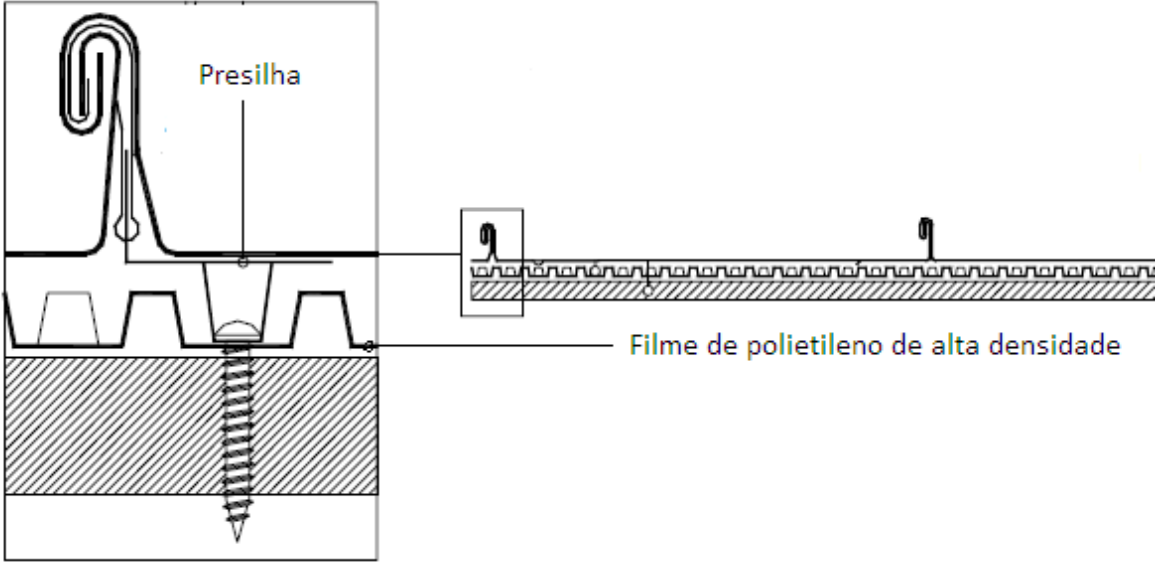


Figura 16 – Presilha colocada no filme de PEAD [6]

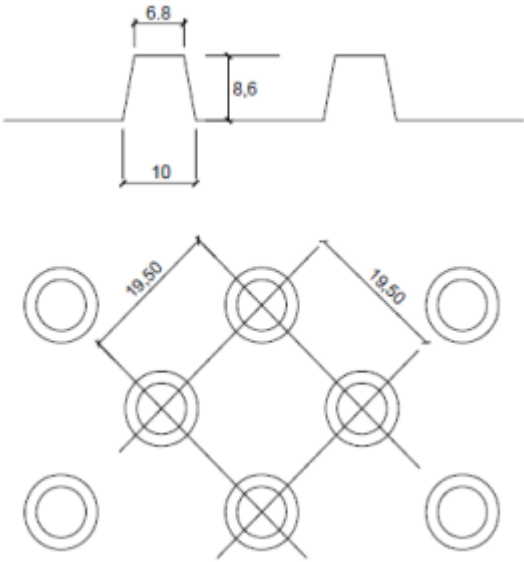
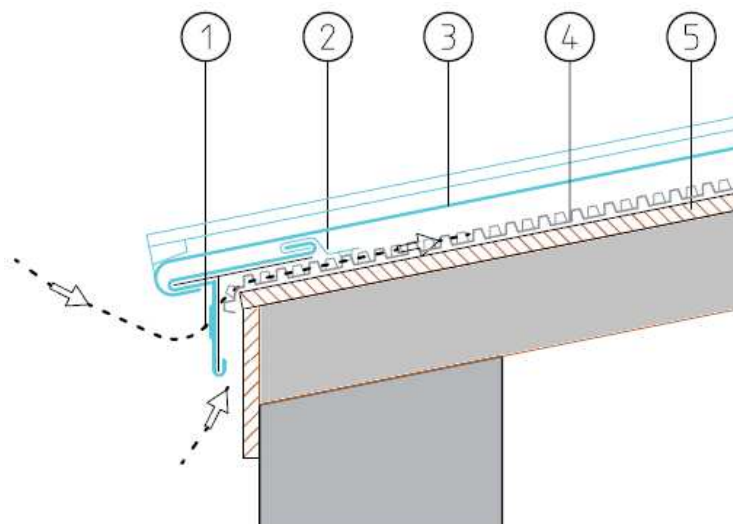


Figura 17 – Dimensões dos nódulos [6]

Esta película cria uma lâmina de ar na parte inferior do revestimento metálico (Figura 18) [36].



- 1 – Fluxo de ar
- 2 – Presilha de fixação
- 3 – Chapa de cobertura
- 4 – Filme PEAD
- 5 – Base de suporte

Figura 18 - - Fluxo de ar entre os nódulos do filme PEAD

4.3.2.3.1 – Madeira

A base de suporte pode ser em madeira ou derivados de madeira, respeitando a norma EN 12871 [6]. A espessura depende do tipo de forro a utilizar, em painéis ou em ripado, da estrutura de suporte, o número de vigas e madres. No entanto é unanime fixar valores de 20 mm no mínimo, para os painéis e 12 mm para o ripado. Valor de espessura inferior, só com um estudo para casos específicos. Este suporte tem de absorver os esforços de sucção

devidos ao vento, assim como o peso do metal e o peso dos operários, na altura da montagem. As vigas e as madres da estrutura de suporte devem ser em madeira tratada, em função da exposição e localização da obra. A madeira ou derivados devem possuir um pH entre 5 a 7. As madeiras com $\text{pH} < 5$ demonstram um comportamento corrosivo em presença de humidade, que acaba por pôr em causa as fixações que se usadas na estrutura e os acessórios de fixação do revestimento.

Tal como já referido a base de suporte pode ser executada em painéis, normalmente com dimensões próximas de 1,25 m x 2,50 m, ou com ripado formando uma superfície contínua. No caso do ripado, os elementos que o constituem, as ripas, devem ter uma largura de 10 cm no mínimo e uma espessura de 1,2 cm, com espaçamento entre si de 2 mm.

Num considerável número de vezes não é a madeira que põe em causa o material de revestimento, mas sim vernizes, pinturas, colas e outros materiais que constituem as placas ou o ripado. No entanto existem madeiras que por si só danificam o metal. No Quadro 2 [6] são apresentados os tipos de madeira que são compatíveis e incompatíveis.

Madeiras compatíveis	Madeiras incompatíveis
Abeto	Carvalho
Pinheiro	Castanho
Álamo	Cedro
	Madeiras com $\text{pH} < 5$

Quadro 2 – Madeiras compatíveis e incompatíveis

Os derivados de madeira, vulgarmente chamados de aglomerados, merecem uma atenção especial. Os mais utilizados e recomendados são:

- Os aglomerados marítimos utilizados em trabalhos de cofragem são ideais para este tipo de base de apoio. São materiais com grande resistência à humidade,

estáveis dimensionalmente, possuem um acabamento liso sem defeitos, nós ou irregularidades;

- Painéis em OSB (*Oriented Strand Board*, ou aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas) são muito utilizados e recomendados pois possuem uma boa resistência à humidade, baixa deformação e estabilidade dimensional.



Figura 19 - – Estrutura e forro em madeira

[33]

Materiais do tipo MDF, da sigla em inglês *Medium Density Fiberboard*, não são recomendáveis, mesmo que tenham a indicação de ser hidrófugos. Este tipo de painel deforma-se com facilidade em presença de humidade e possui baixa resistência ao peso dos operários na fase de montagem. Outro tipo de painel não recomendado é o composto de cimento e madeira. Normalmente é utilizado sem nenhuma pintura protetora e por isso

apresenta grande vulnerabilidade à humidade, variando as suas dimensões pondo em causa todas as fixações aplicadas. Além disso é difícil assegurar as distâncias mínimas a que ficarão colocadas as fixações, em relação ao bordo dos painéis.

4.3.2.3.2 – Betão

Em Portugal revestir uma cobertura ou uma fachada de betão com zinco ou cobre, é prática corrente. Todavia o contacto direto do metal com o betão, não é recomendado. O betão contém elementos na sua composição, sejam aditivos, cal ou o cimento, que interagem com o metal, situação agravada se existirem condensações, podendo provocar uma rápida corrosão. Neste ambiente o zinco mostra-se mais vulnerável, mas o cobre neste ambiente também pode ser atacado. Quando se refere betão, tem de se salvaguardar que a superfície deve estar devidamente regularizada e desempenada. Logo aqui há mais um dado a registar, a existência de argamassa de regularização. Sendo a argamassa mais porosa que o betão e mais absorvente de humidade, contendo cal, é um meio de ataque ao zinco ou ao cobre. Torna-se imprescindível o recurso à película de PEAD nas condições já explicadas anteriormente.

4.3.2.3.3 - Painéis Metálicos

Outra base de suporte possível são os painéis tipo *sandwich*, compostos por duas faces em chapa de aço e isolamento térmico no meio. Este tipo de suporte obriga a que os parafusos de fixação atravessem as duas camadas de aço, sendo a da face inferior com uma espessura de 0,70 mm. Em nenhuma das faces pode existir nervuras, de forma a garantir que os parafusos atravessem o painel na totalidade.

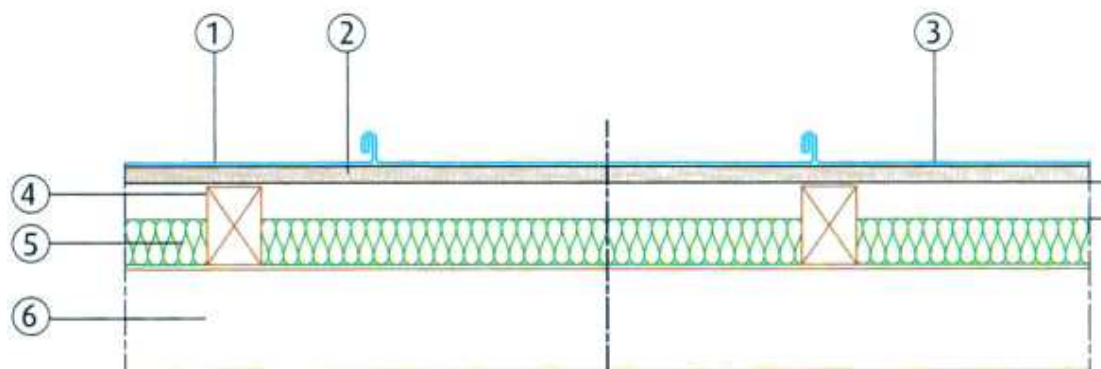
4.3.3 – Tipos de cobertura e fachada

Atendendo a que este é um fenómeno frequente foram desenvolvidas soluções para anular o seu efeito, indicadas no Guide de recommandations en Europe [39]. Daqui resultam duas formas de classificar as coberturas e fachadas:

- Cobertura / Fachada com ventilação ao nível de uma das camadas que constituem a envolvente – Cobertura / Fachada fria;
- Cobertura / Fachada sem ventilação – Cobertura / Fachada quente.

A primeira situação funciona como já descrito, ou seja, há ventilação da base de apoio do revestimento metálico. Esta situação é válida para coberturas e fachadas. A ventilação do espaço entre a base para assentamento do revestimento metálico e a estrutura de suporte permite que a base mantenha todas as características de resistência para assegurar boas condições de funcionamento da cobertura ou da fachada.

Esta necessidade é válida seja qual for o material que sirva de base para a colocação do zinco ou do cobre.

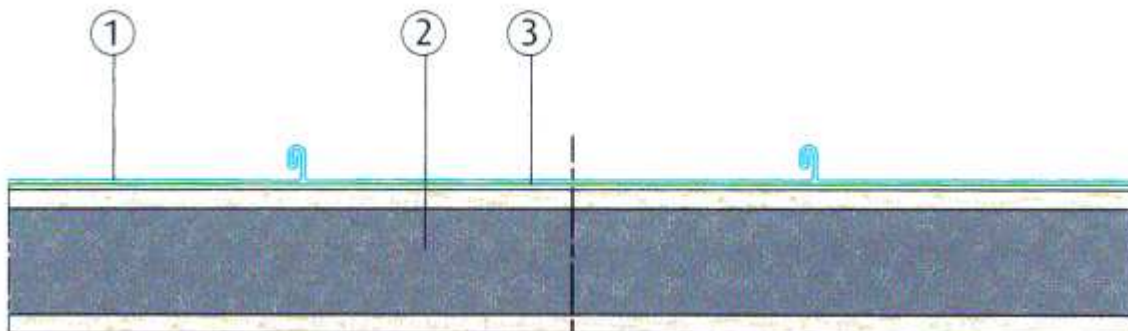


- 1 – Cobertura em zinco / cobre;
- 2 – Suporte em madeira / derivado de madeira
- 3 – Filme de PEAD
- 4 – Estrutura de apoio
- 5 – Isolamento térmico sob caixa-de-ar
- 6 – Estrutura

Figura 20 – Cobertura fria

A lâmina de ar deve ter 40 a 60 mm de espessura em coberturas e cerca 20 mm, como mínimo, em fachadas.

A segunda é uma situação distinta, conhecida por cobertura quente, e é a mais vulgar em Portugal. Como já referido as estruturas de apoio ou de suporte em madeira não são a prática corrente em Portugal. Por questões económicas, essencialmente, mas também porque não faz parte das soluções tipo adotadas pelos projetistas e arquitetos. Parte-se do princípio que a película de PEAD colocada entre o revestimento metálico e a base de suporte proporciona ventilação da face inferior das chapas. Considera-se que o ar que circula entre os alvéolos da película é suficiente para ventilar, desde que sejam colocados acessórios que permitam a passagem do ar nessa zona.



- 1 – Cobertura em zinco / cobre
- 2 – Base de suporte (com ou sem isolamento térmico)
- 3 – Filme PEAD

Figura 21 – Cobertura quente

4.3.4 - Ventilação

4.3.4.1 – Princípio geral

Nos países do norte da Europa as envolventes exteriores revestidas a zinco ou cobre, apresentam diferenças em relação ao observado em Portugal. Tendo em conta o clima existente em países como a Alemanha, França (norte), Bélgica ou Holanda, as soluções para coberturas e fachadas possuem um espaço de ar para ventilação ou solução equivalente.

Estes espaços de ventilação podem ser realizados de duas formas:

- Através de um desvão na cobertura;
- Através de uma caixa-de-ar.

A construção com madeira faz parte da cultura dos arquitectos e projetistas e torna-se mais corrente a opção por estas soluções, em que as coberturas têm pendentes elevadas que permitem o desvão. Caso este espaço seja ocupado a opção recai sobre a criação de

uma caixa-de-ar que está, normalmente, antes da camada de apoio ao revestimento metálico se partirmos do interior para o exterior do edifício. Estas duas soluções pretendem prevenir o aparecimento de condensações internas. Nestes países o próprio clima obriga a uma construção diferente da observada no sul da Europa. O inverno rigoroso com temperaturas exteriores muito baixas, em muitos dias constantemente negativas, e no interior a utilização de equipamentos de aquecimento, facilita o aparecimento de condensações internas. Em Portugal, à semelhança do que acontece em Espanha e Itália, as soluções de cobertura são diferentes. A própria estrutura de betão é a base de apoio ao revestimento metálico. Esta situação abre espaço para outras soluções e necessidades no sentido de evitar o fenómeno das condensações internas.

As recomendações encontradas em relação ao zinco, remetem sempre para criação de um desvão ou uma caixa-de-ar. No que se refere ao cobre, não é indicada nenhuma solução do género. No entanto a criação do espaço de ventilação é visto como uma solução corrente nos países do norte da Europa, que são uns dos maiores consumidores de cobre laminado.

A tudo que foi referido acresce os níveis altos níveis de isolamento térmico utilizado atualmente na construção. A partir daqui é importante perceber de que tipo de solução se trata e como pode funcionar em Portugal.

4.3.4.2 - Efeito da condensação

No interior de um edifício, consideremos uma habitação, produz-se uma grande quantidade de vapor de água que, no caso de más condições de ventilação, não é dissipado e tende a condensar nos pontos em que a temperatura é inferior ao ponto de orvalho do ar interior.

As condensações aparecem especialmente em zonas de pontes térmicas e nos envidraçados e são tanto mais significativas quanto maior for o diferencial térmico entre o ambiente interior e atmosférico. No entanto são igualmente frequentes em áreas de elementos da

envolvente exterior com insuficiente isolamento. Este fenómeno também ocorre no interior das camadas que compõe a envolvente, quando em determinadas condições específicas o fluxo de vapor atinge uma camada fria e impermeável. A este fenómeno chama-se condensação interna e é importante que não ocorra, sob pena de afetar a durabilidade e estética (manchas) da solução da envolvente. É portanto este tipo de situação que se deve evitar nas coberturas e fachadas com revestimento exterior em zinco ou cobre, materiais praticamente impermeáveis ao vapor. Se a condensação ocorre na face interior do metal, resultando daí uma determinada quantidade de água, pode haver corrosão do material por interação com os elementos de suporte e humidades penetrando na base de betão, alvenarias ou madeira. Já se abordou a importância da colocação do filme de PEAD na separação do metal da base de suporte, para este efeito. No entanto existem soluções para evitar que a condensação se dê nesta zona, seja cobertura ou fachada, que passam por assegurar a ventilação conveniente, eliminando assim os efeitos do vapor de água resultante das condições do ambiente interior e exterior como indicado na figura 22.

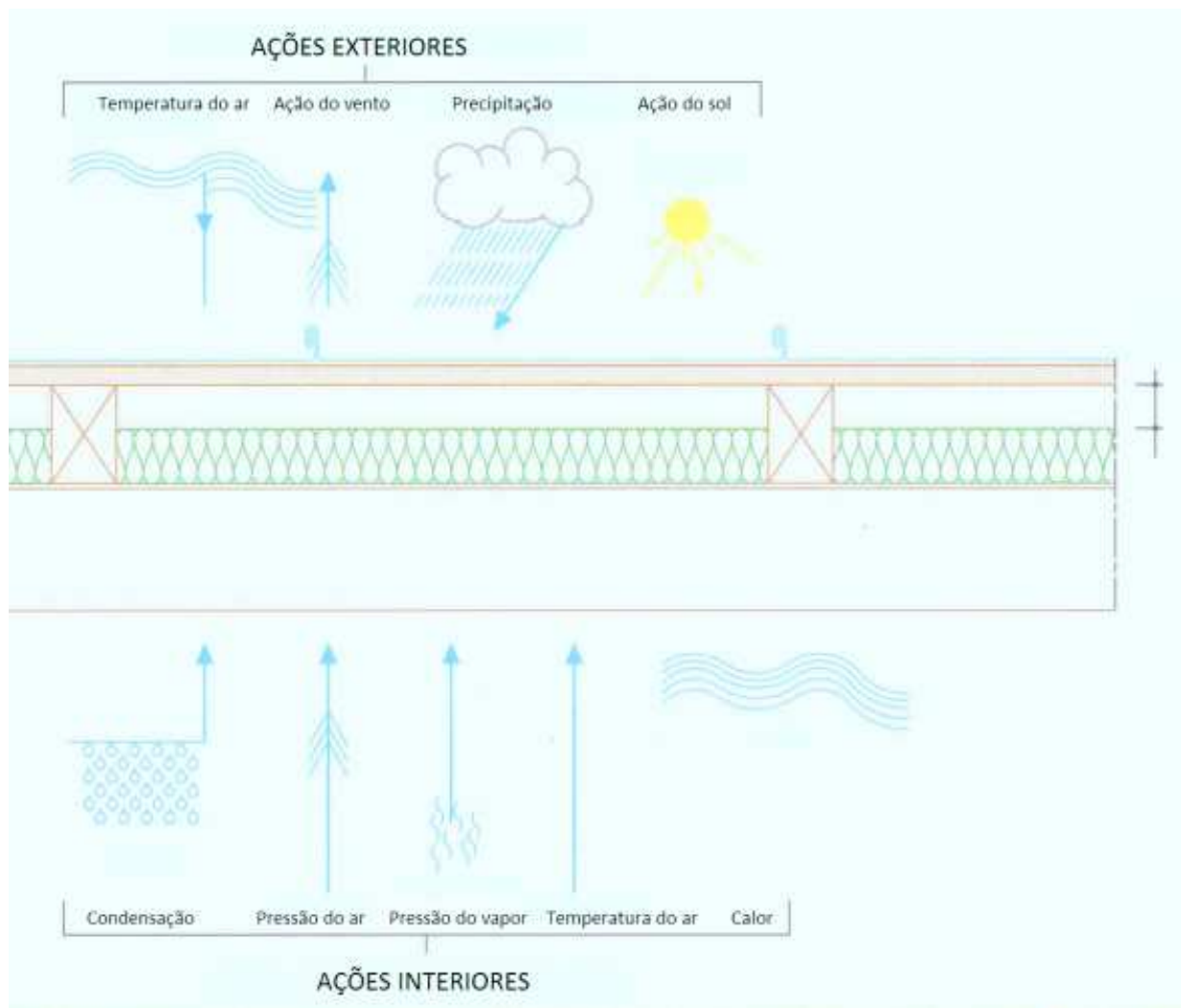


Figura 22 – Fatores condicionantes do fenômeno da condensação

[33]

É de salientar que as condensações internas, coberturas e fachadas, são particularmente intensas em casos de ambientes interiores de forte higrometria. Segundo Freitas (1998) [11], a higrometria consiste na pressão de vapor de água no interior de um local em relação ao exterior. O valor de higrometria, classificado conforme indicado no Quadro 8, corresponde à relação entre a produção de vapor no interior de um local e o caudal de ventilação, ou seja é igual a $\frac{w}{n.V}$. (kg/m³), em que:

w – produção de vapor dentro de um local (kg/h)

n.V – caudal de ventilação (m³/h)

Os edifícios de higrometria muito forte obrigam a utilização de soluções de cobertura específicas, de alguma complexidade, que garantam a durabilidade do zinco ou do cobre.

Classe	Higrometria	Tipo de edifícios
I - Fraca	$\frac{w}{n.V} \leq 2,5 \text{ g/m}^3$	Escolas, Escolas, Ginásios
II - Média	$2,5 \text{ g/m}^3 < \frac{w}{n.V} < 5 \text{ g/m}^3$	Edifícios de habitação não sobreocupados e corretamente ventilados
III - Forte	$5 \text{ g/m}^3 < \frac{w}{n.V} < 7,5 \text{ g/m}^3$	Edifícios de habitação com ventilação deficiente, Industrias
IV - Muito forte	$\frac{w}{n.V} > 7,5 \text{ g/m}^3$	Piscinas, certos locais industriais com grande produção de vapor

Quadro 3 – Classificação dos edifícios em função da sua higrometria

[11]

O fenómeno da condensação agravasse com a má ventilação do ambiente interior e quando a envolvente tem isolamento térmico de considerável espessura. Acontece que o fluxo de vapor de água, que migra do interior para o exterior da construção, após atravessar as camadas da parede interior ao isolante (parte quente da parede) e uma vez passado o referido isolante, encontra as camadas exteriores àquele (parte fria da parede). Aí processa-se a condensação, ou seja, quando a pressão de vapor desce abaixo do seu limite de saturação. Isto é muito menos previsível em paredes sem isolante e de qualidade térmica baixa e constituídas por materiais de boa permeabilidade ao vapor de água. Como são exemplo as paredes de alvenaria, de granito ou tijolo.

Em resumo, sai reforçada a necessidade de existir uma camada ou um espaço ventilado que permita evitar a condensação interna, principalmente, na face interior do metal de revestimento.

4.3.4.3 – Caracterização de espaços de ar

O dimensionamento apresentado destina-se a edifícios com fraca ou media higrometria. Os dispositivos de ventilação podem ser dimensionados considerando algumas orientações dadas por diferentes normas. Em Portugal o RCCTE [27] define os espaços de ar como sendo ventilados ou não ventilados. Os produtores de zinco ou cobre laminado dão informação acerca deste assunto baseado em normas dos respetivos países.

Assim apresentam-se três formas diferentes, segundo o Guide de recommendations en Europe da VMZinc, segundo o DTU P50 – 704 e de acordo com o RCCTE.

- Guide de recommendations en Europe da VMZinc [31]

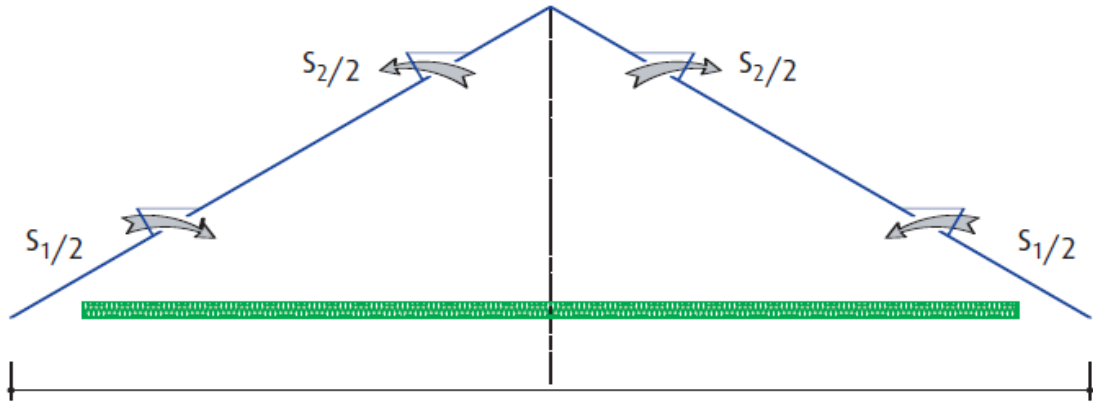
No caso de desvão não ocupado, com isolamento inferior, a secção total dos orifícios de passagem de ar deverá ser no mínimo igual a 1/5000 da superfície da cobertura em projeção horizontal.

$$S_v = S_1 + S_2 = S / 5000$$

S_v – Secção total das aberturas para ventilação (m²)

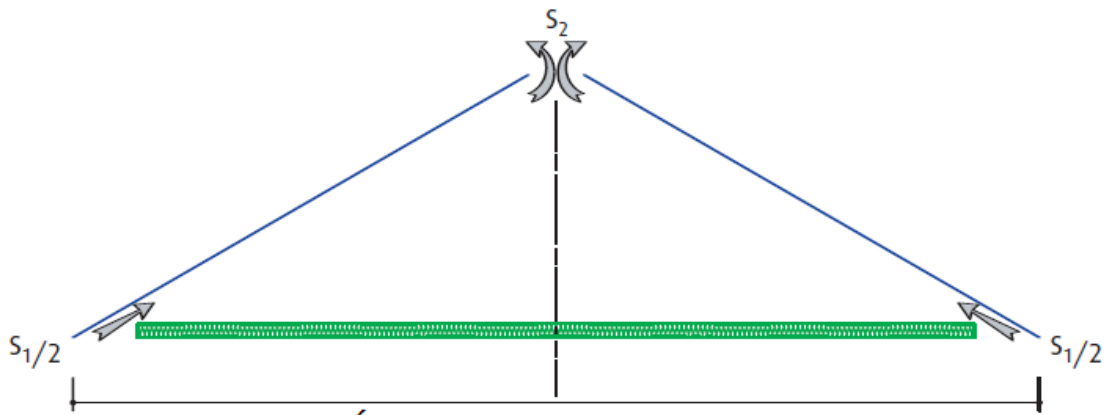
S_1, S_2 – Secção das aberturas para ventilação (m²)

S - Área projeção horizontal (m²)



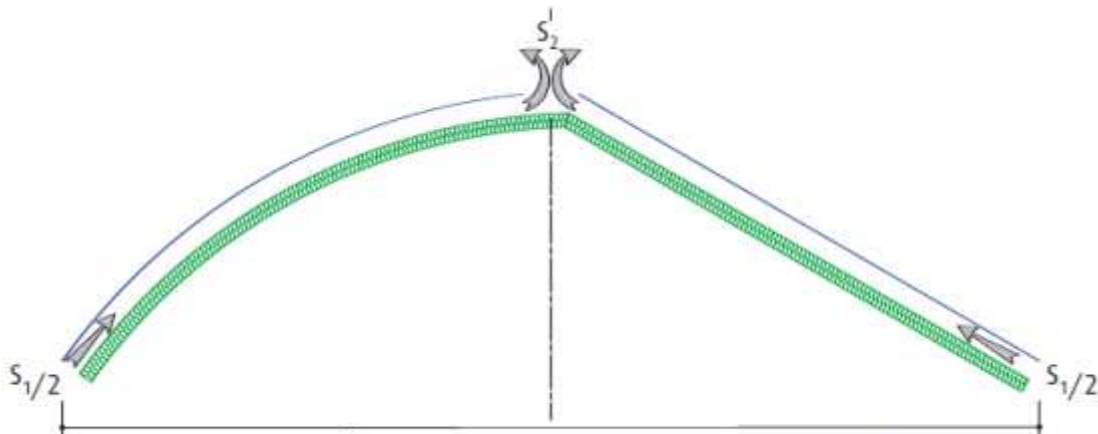
S - Área em projeção horizontal

Figura 23 – Cobertura com desvão não ocupado



S - Área em projeção horizontal

Figura 24 – Cobertura com desvão não ocupado



S - Área em projeção horizontal

Figura 25 – Cobertura sobre desvão (habitável ou não)

No caso de desvão ocupado ou não, com isolamento sob as vertentes, a secção total dos orifícios de passagem de ar, entre o suporte do revestimento metálico e o isolamento, deverá ser no mínimo igual a 1/3000 da superfície da cobertura em projeção horizontal.

$$S_v = S_1 + S_2 = \text{Área projeção horizontal} / 3000$$

S_v – Secção total das aberturas para ventilação (m^2)

S_1, S_2 – Secção das aberturas para ventilação (m^2)

S - Área projeção horizontal (m^2)

A ventilação é assegurada através de:

- As saídas / entradas de ar colocadas na superfície exterior da cobertura;
 - Entradas de ar na parte mais baixa e na parte mais alta da cobertura;
 - Entrada de ar em peças de remate laterais;
- Segundo a DTU P50 – 704 [8]

Um desvão de cobertura será fortemente ventilado com relação entre superfície em projeção horizontal e orifícios mínimos de 3/1000, fracamente ventilado com relação entre superfície e orifícios superior a 3/10000 e inferior a 3/1000 e muito fracamente ventilado ou não ventilado, com relação entre superfície e orifícios igual ou inferior a 3/10000.

Em Portugal o RCCTE [27] define os espaços de ar como sendo ventilados ou não ventilados.

Com s sendo a área de orifícios de ventilação (em mm^2), L o comprimento da parede (em m) e A a área do elemento em estudo (em m^2), o regulamento refere o seguinte:

- Um espaço de ar com pequenas aberturas para o ambiente exterior pode também ser considerado não ventilado, desde que:
 - Não exista uma camada de isolante térmico entre ele e o exterior;
 - As aberturas existentes não permitam a circulação de ar no interior do espaço de ar;

- A relação s/L seja igual ou inferior a $500 \text{ mm}^2/\text{m}$, no caso de paredes;
- A relação s/A seja igual ou inferior a $500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$, no caso de elementos horizontais (coberturas ou pavimentos) ou inclinados;
- Um espaço de ar considera-se fortemente ventilado desde que:
 - A relação s/L seja superior a $1500 \text{ mm}^2/\text{m}$, no caso de paredes;
 - A relação s/A seja superior a $1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$, no caso de elementos horizontais ou inclinados;
- Um espaço de ar considera-se fracamente ventilado desde que:
 - A relação s/L seja superior a $500 \text{ mm}^2/\text{m}$ e inferior a $1500 \text{ mm}^2/\text{m}$, no caso de paredes;
 - A relação s/A seja superior a $500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ e inferior a $1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$, no caso de elementos horizontais ou inclinados.

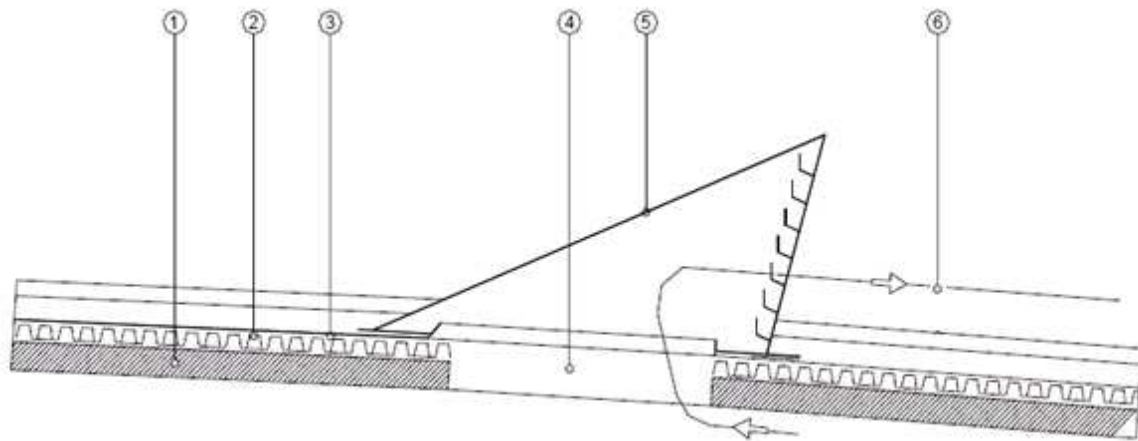
Na teoria, tendo em conta as recomendações técnicas para aplicação de zinco e cobre nas envolventes exteriores, existem dispositivos que permitem a ventilação destes espaços. Na prática não é comum serem aplicados. Parte-se do princípio que os engates e encaixes e suas folgas, existentes nos sistemas são suficientes para ventilar. A questão aqui é o grau de ventilação que se consegue, principalmente em coberturas. Em fachadas é mais corrente haver esta preocupação e em termos construtivos mais simples. No entanto as soluções estudadas abrangem todas as possibilidades e será evidenciado o contributo da ventilação destes espaços de ar.

4.3.4.3.1 – Dispositivos de ventilação

A ventilação do desvão e da lâmina de ar é garantida por dispositivos que permitem um determinado caudal de ventilação.

4.3.4.3.1.1 - Respiro saída/entrada de ar

São elementos que se colocam no exterior da cobertura e possuem uma grelha que permite a passagem de ar.



- 1 – Suporte
- 2 – Filme PEAD
- 3 – Chapa de cobertura
- 4 – Abertura no suporte
- 5 – Respiro de ventilação
- 6 – Fluxo de ar

Figura 26 – Respiro saída/entrada de ar
[6]

Cada acessório destes contribui com 85 cm² de entrada/saída de ar. No caso da cobertura ser sobre um desvão não ocupado deve contemplar, cada 42,5 m², com um elemento destes. Caso seja um desvão ocupado, com isolamento na cobertura, este elemento deve ser colocado a cada 25,5 m².

Exemplificando conforme Figura 27 [6]:

Uma cobertura com 250,00 m² em desvão não habitado:



Figura 27 – Corte e planta de cobertura dotada de respiros de saída/entrada de ar

Em desvão não habitado a fórmula a usar é:

$$S_v = S_1 + S_2 = S / 5000$$

Neste caso, $250 / 5000 = 0,05 \text{ m}^2$

Cada dispositivo de ventilação contribui com $0,0085 \text{ m}^2$ o que resulta:

$0,05 / 0,0085 = 5,99$, ou seja, 6 dispositivos.

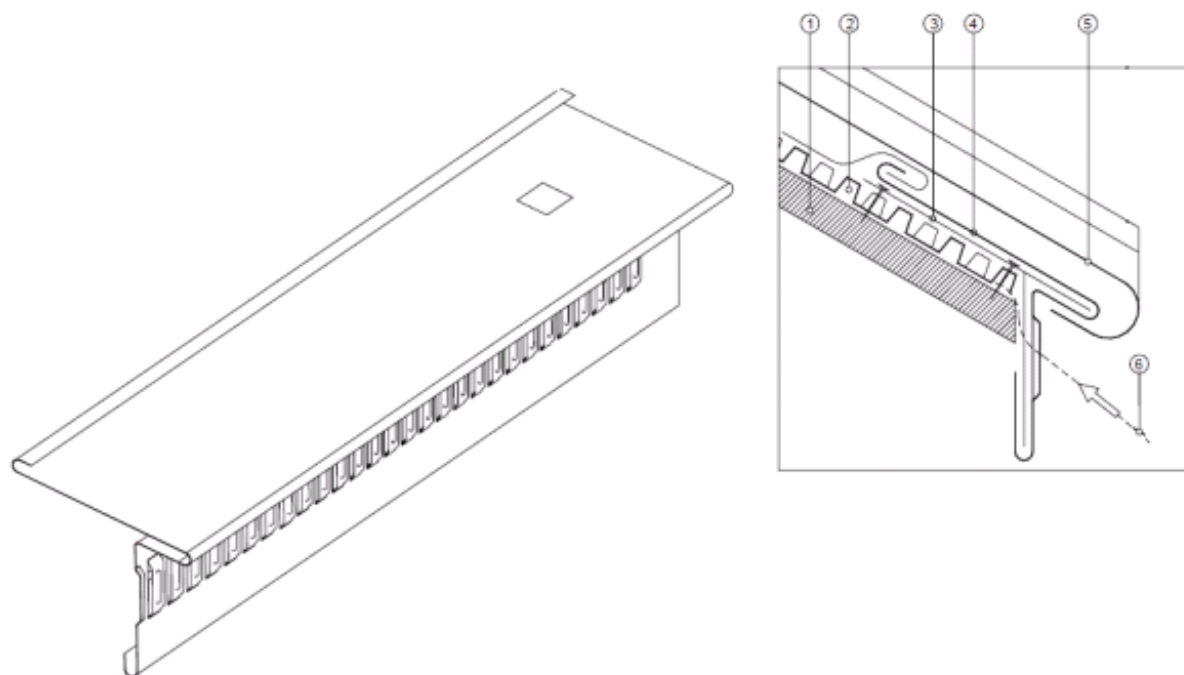
Em alternativa pode-se calcular:

$250,00 / 42,5 = 5,9$, ou seja, adota-se 6 unidades a distribuir 3 unidades em cada extremo da pendente.

4.3.4.3.1.2 - Pingadeira de arranque com furação

É o elemento que se coloca na zona de arranque das coberturas, normalmente, junto à calceira ou algeroz. É dotada de furação de forma a permitir a passagem do ar no espaço

livre entre os nódulos do filme de PEAD. Esta pingadeira proporciona cerca de 76 cm² por cada metro linear.



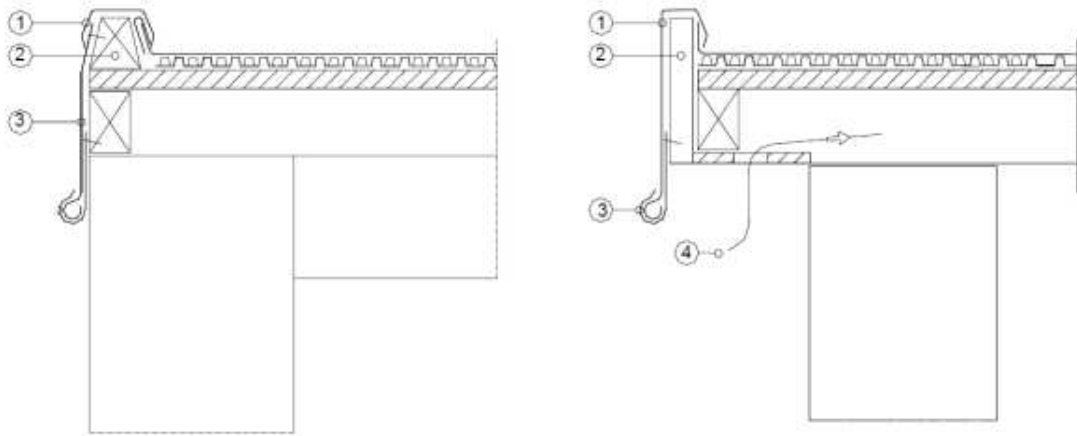
- 1 – Suporte
- 2 – Filme PEAD
- 3 – Presilha de fixação da pingadeira de arranque
- 4 – Pingadeira de arranque
- 5 – Chapa de cobertura
- 6 – Fluxo de ar

Figura 28 – Pingadeira de arranque com aberturas para ventilação para coberturas

[6]

4.3.4.3.1.3 - Pingadeiras de remate lateral

As peças de remate lateral, ou outras, dependendo da posição que ocupam, devem permitir a passagem do ar, seja através do filme PEAD, seja para a ventilação do sistema de cobertura.



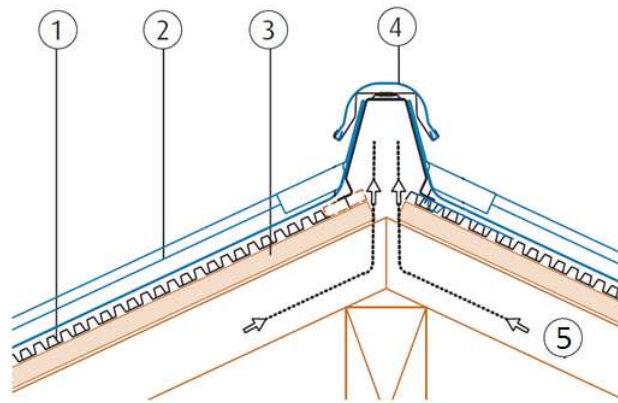
- 1 – Cobre junta/Pingadeira lateral
- 2 – Suporte de pingadeira lateral
- 3 – Pingadeira lateral
- 4 – Fluxo de ar

Figura 29 – Pingadeiras laterais

[6]

4.3.4.3.1.4 - Cumeeira de ventilação

Este elemento fica colocado no topo da pendente, cumeeira, e permite a passagem do ar em cerca de 75 cm² por cada metro linear.



- 1 – Filme PEAD
- 2 – Chapa de cobertura
- 3 – Suporte
- 4 – Cumeeira de ventilação
- 5 – Fluxo de ar

Figura 30 – Cumeeira de ventilação

[37]

4.3.4.3.1.5 – Fachadas

Nas fachadas deve-se garantir uma entrada de ar na zona inferior da fachada e uma saída na parte superior da mesma.

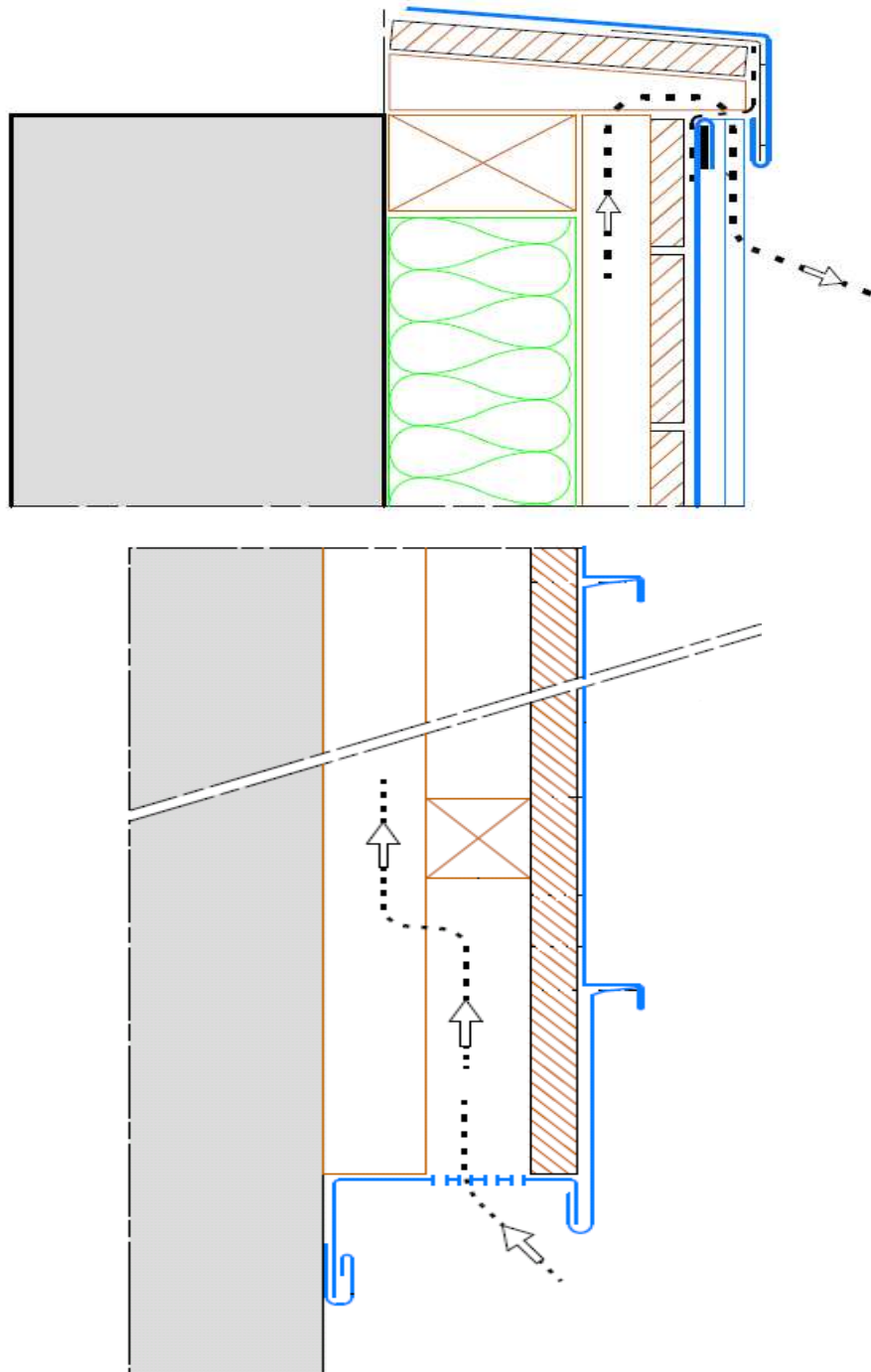


Figura 31 – Pormenores de ventilação de fachada

[7]

4.3.5 – Dilatação e contração

Uma das principais características associadas aos metais é a capacidade de alterar significativamente as dimensões, por fenómeno de dilatação e contração. Esta característica assume particular importância nos metais não ferrosos, quando aplicados na envolvente exterior de edifícios. Por serem bons condutores, estes metais quando aplicados em elementos de coberturas e fachadas expostas às ações térmicas, assumem uma variação significativa nas suas dimensões. Esta ideia é suficiente para concluir que é necessário um cuidado extremo na fixação dos elementos. Adota-se como regra que não deve haver fixações que prendam o material, ou seja, deve estar garantida a liberdade de movimento de dilatação/contração.

Todos os sistemas de cobertura e fachada funcionam com encaixes, sobreposições e engates nunca fixando diretamente os elementos. Outra forma de fixação, nomeadamente em fachadas, é o recurso a furações ovalizadas que permitem o movimento dos elementos. As fixações são efetuadas por parafusos, aplicados em presilhas ou calhas que são presas ao suporte e que permitem o engate ou o encaixe dos elementos de zinco ou cobre, que são levados a fixar-se ao suporte de forma oculta.

O coeficiente de dilatação do zinco é de 2,2 mm/m, no entanto se tivermos em conta o atrito que existe com o suporte e o efeito das presilhas de fixação considera-se uma redução deste valor para 1,6 mm/m. O cobre possui um coeficiente de dilatação de 1,65 a 1,80 mm/m. De uma forma linear, para se ter uma ideia imediata, se tivermos uma chapa de zinco com 10,00 m esta dilatará cerca de 1,6 cm. Atendendo que os encaixes e engates que existem tem uma folga entre elementos de 2,0 cm (Figura 32) [33] percebe-se que este é um aspeto importante a ter em conta e que limita fortemente os comprimentos a utilizar.

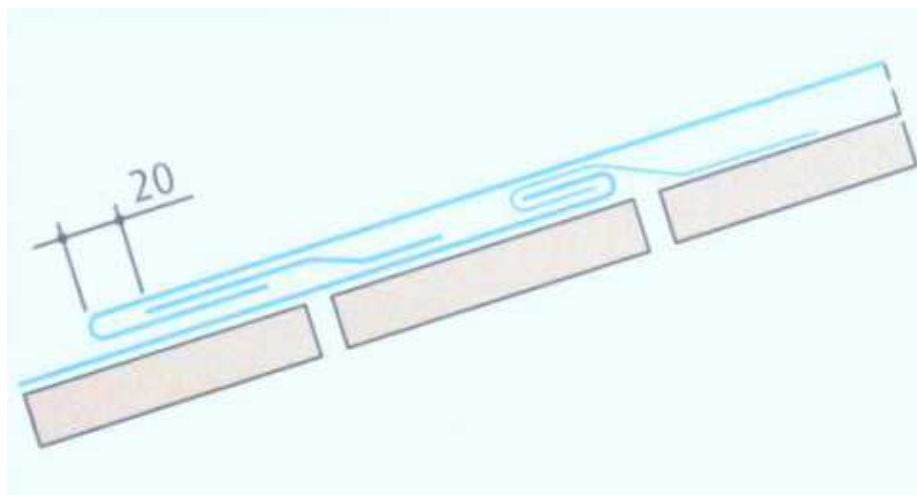


Figura 32 – Ligação por engate entre dois elementos

O resultado pode ser o desengate entre elementos quando se atingem valores de dilatação máximos. O contrário, ou seja, a contração pode provocar a rotura do material na zona da junta. Tal como ilustrado na Figura 33 [33], uma junta executada em obra no mês de Agosto pode apresentar diferentes aspetos nos primeiros meses mais frios e nos meses mais quentes. A atenção ao fenómeno da dilatação é muitas vezes colocada num patamar secundário quando se está em obra. No entanto, a curto prazo provoca problemas grave no sistema, seja cobertura ou fachada.

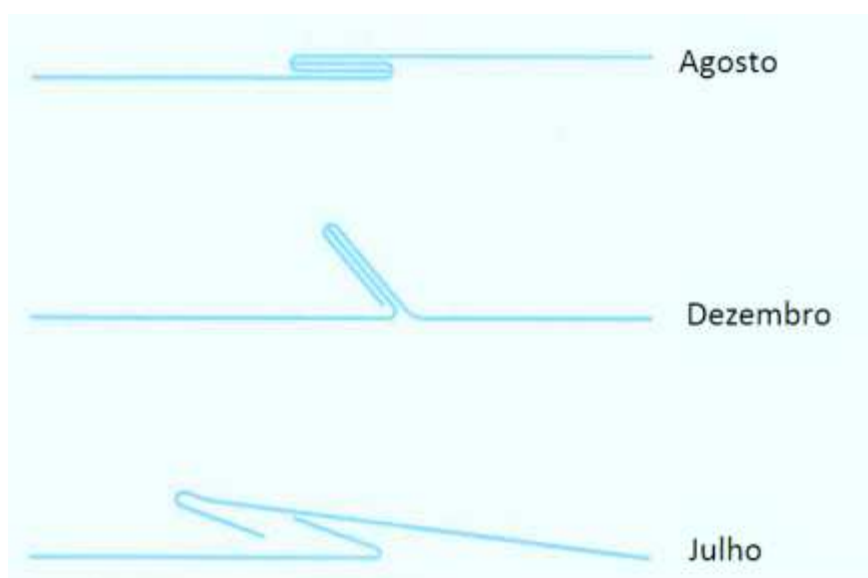


Figura 33 – Comportamento de uma junta ao longo o tempo

4.3.5.1 - Dimensionamento

O cálculo do valor da dilatação e contração é fundamental para se obter o comprimento máximo que se pode adotar numa cobertura. Por vezes é necessário dividir uma superfície a revestir, em dois ou mais troços de chapa de cobertura. Saber qual o limite em termos de comprimento é importante, de forma a observar que não se coloca em causa as ligações entre elementos.

Segundo as indicações do Mémento du couvreur zingueur [33] o cálculo é efetuado da seguinte forma:

Cálculo da dilatação

$D = (\text{Temperatura máxima} - \text{Temperatura de montagem}) \times \text{Coeficiente de dilatação} \times \text{Comprimento da chapa}$

Cálculo da contração

$R = (\text{Temperatura mínima} - \text{Temperatura de montagem}) \times \text{Coeficiente de dilatação} \times \text{Comprimento da chapa}$

Exemplo:

Comprimento da chapa de 10,00 m;

Temperatura de montagem de 10°;

Temperatura mínima: -20 °C

Temperatura máxima: 80 °C

Coeficiente de dilatação: 0,022 mm/m/°C

$$D = (80 \text{ °C} - 10 \text{ °C}) \times 0,022 \times 10,00 \text{ m} = 15,40 \text{ mm}$$

$$R = (- 20 \text{ °C} - 10 \text{ °C}) \times 0,022 \times 10,00 \text{ m} = - 6,60 \text{ mm}$$

Pode-se verificar no ábaco da Figura 34 [33] os valores obtidos pela fórmula.

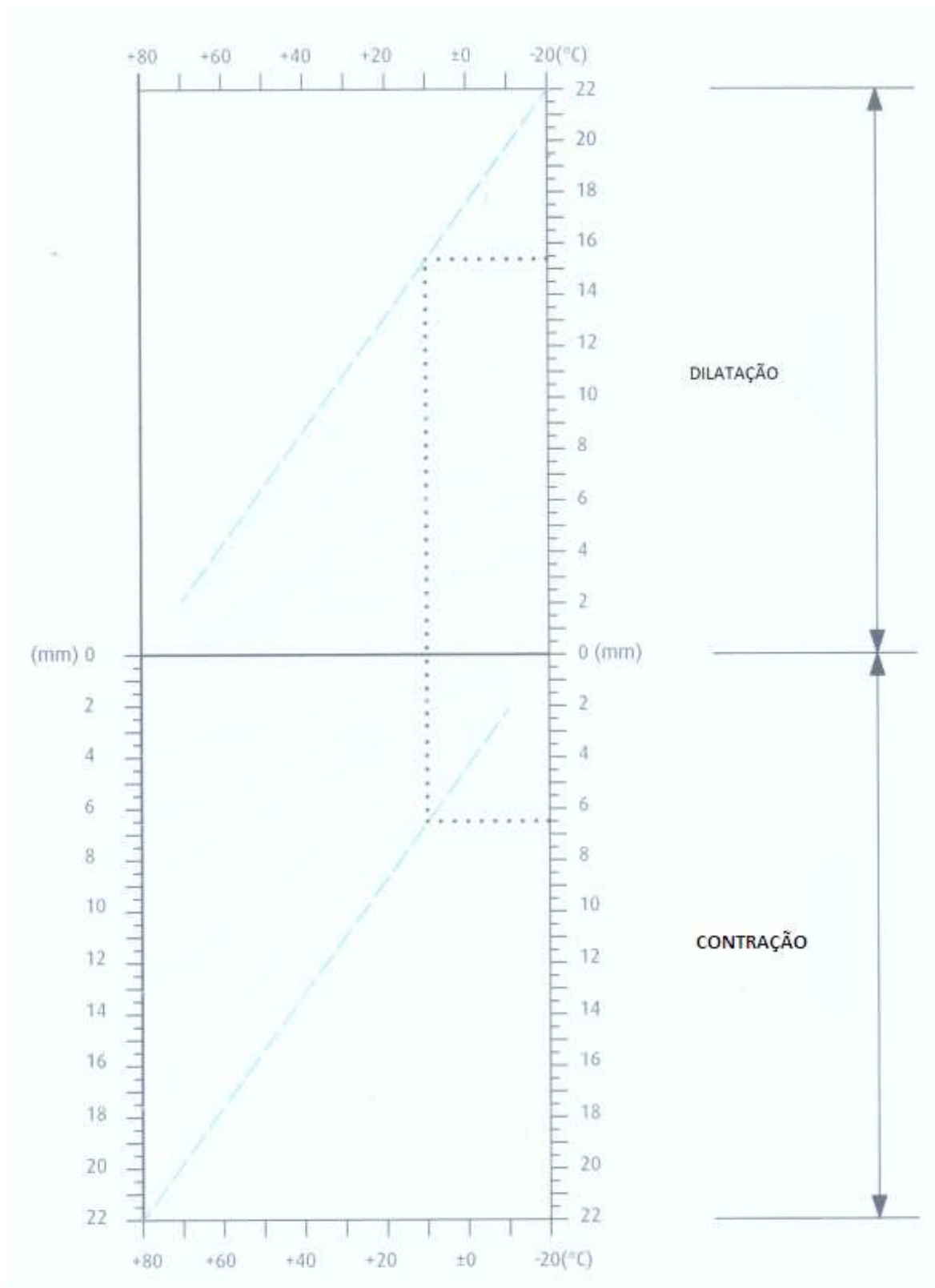


Figura 34 - Ábaco para cálculo da dilatação e contração de chapas em zinco

4.3.6 - Sistemas de fixação

Os sistemas de fixação compreendem vários componentes, parafusos, presilhas e calhas. Todos estes elementos devem ser em aço inox AISI 304 (norma AISI – American Iron and Steel Institute) [35] que possuem características de resistência às condições atmosféricas e não colocam em causa os metais em contacto, em particular, o zinco. A sua designação segundo a norma DIN 17440 é X5 CrNi18-10, indicada para o contacto com os metais não ferrosos, evitando os fenómenos galvânicos.

Uma das vantagens que se atribui a estes sistemas de cobertura e fachada, é a fixação ser oculta. Assim, além das vantagens estéticas, não há exposição dos parafusos aos agentes atmosféricos, evitando a sua corrosão e conseqüente infiltração de água.

4.3.6.1 - Presilhas

São dispositivos de pequena dimensão, que servem como elemento entreposto entre diferentes peças de zinco ou cobre. Possui uma furação para passagem de parafusos de fixação.



Figura 35 – Presilhas de fixação em aço inox AISI 304

4.3.6.2 - Calhas e Perfis

São elementos lineares, em forma de U, Z ou L, que permitem o engate das chapas que constituem as coberturas ou fachadas, em zonas em que é necessária maior garantia de fixação, normalmente cumeeiras, ângulos de fachada e zonas inferiores das mesmas (peças de arranque).

Os perfis utilizados nas estruturas de suporte, são em aço galvanizado, alumínio, aço inox ou madeira. Os perfis podem ser tubulares de secção quadrangular, ou em forma de U, Z ou L. Quando se recorre à madeira, esta deve ser tratada.

4.3.6.3 - Parafusos

Os parafusos são dimensionados em termos de comprimento, em função das espessuras que tem de atravessar até chegar à base de suporte. Preferencialmente devem ser em aço inox, podendo ser em aço galvanizado. A cabeça do parafuso deve ser sempre de embutir, do tipo *Pozidrive*, para que não fique em contacto com o elemento metálico do revestimento. Este contacto, tendo em conta os movimentos de dilatação e contração, pode provocar fricção entre a chapa e a cabeça do parafuso provocando a perfuração da chapa.



Figura 36 – Parafusos

4.3.7 - Evacuação de águas pluviais

Os sistemas de cobertura possuem vários componentes que permitem o escoamento da água da chuva, assim como da água resultante do degelo. Este escoamento não pode ser constrangido nem dificultado, de forma a manter as coberturas funcionais. Para isso os elementos devem ser devidamente dimensionados, tendo em conta alguns aspetos importantes. A preocupação dos projetistas deve ser sempre e em primeiro lugar, a forma de escoamento da água da cobertura. Pensar neste aspeto antes de partir para a definição da configuração da cobertura em termos arquitetónicos, é um passo importante para se evitar soluções de recurso em obra que, normalmente, dão problemas no futuro.

Dos vários componentes destacam-se as caleiras, algerozes e tubos de queda. É possível realizar todas as ligações necessárias, ramais, forquilhas e caixas de reunião, no mesmo material das caleiras e tubos de queda. Garante-se assim um sistema global, sem materiais estranhos que apresentam comportamentos físicos diferentes ou até dimensões e diâmetros incompatíveis, levando a soluções que se revelam ineficazes.

O zinco e o cobre são materiais correntemente utilizados no fabrico de caleiras, algerozes, guieiros e tubos de queda. Mesmo que a cobertura seja em telha cerâmica, todos os elementos de escoamento da água pode ser em zinco ou cobre. Aliás esta é uma situação muito comum na construção em Portugal. Mesmo em coberturas de edifícios industriais, como gares e armazéns, com elementos em painéis metálicos ou fibrocimento, é normal a colocação de zinco (cobre é mais invulgar) como material de caleiras e rufagens, tendo em conta a sua durabilidade e fiabilidade.

Os componentes de evacuação de águas pluviais são:

- Caleiras;
- Algerozes;
- Tubo de queda;

- Forquilhas;
- Caixas de reunião, retenção ou de visita;
- Ralos de pinha;
- Tubos de aviso.

4.3.7.1 - Caleiras e Algerozes

É chamado caleira ao elemento que é colocado na parte de cota mais baixa da superfície a drenar, sendo fixada através de apoios a que se chamam escápuas, normalmente afastados de 0,50 m, aproximadamente. É uma peça que fica separada da cobertura e por isso se chama caleira de beiral (Figura 37) [40] sendo executada em variados materiais além do zinco ou cobre, como o PVC, alumínio, chapa de aço. Em Portugal é uma das soluções mais utilizadas para drenagem de coberturas em telha cerâmica.



Figura 37 – Caleira de beiral com cobertura em telha cerâmica

A sua configuração em corte pode variar entre o circular e o quadrangular sendo que existem já elementos prefabricados com medidas *standard*, nomeadamente de caleiras circulares.

Por sua vez o algeroz é uma caleira embutida no próprio sistema de cobertura. É a solução mais utilizada quando estamos perante uma cobertura de zinco ou cobre. Permite uma solução mais eficiente, global e muito apreciada por arquitetos e projetistas.

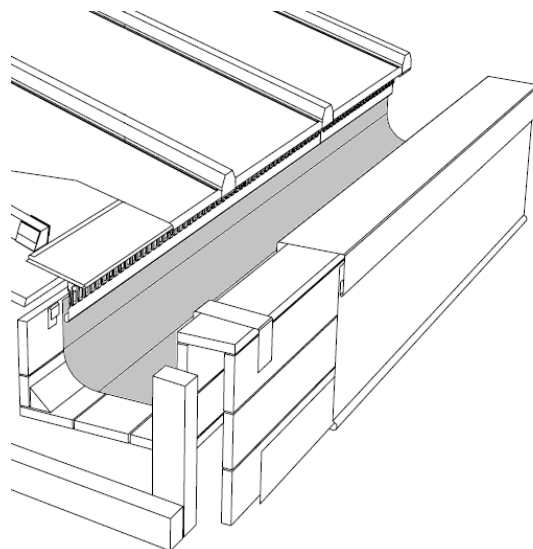
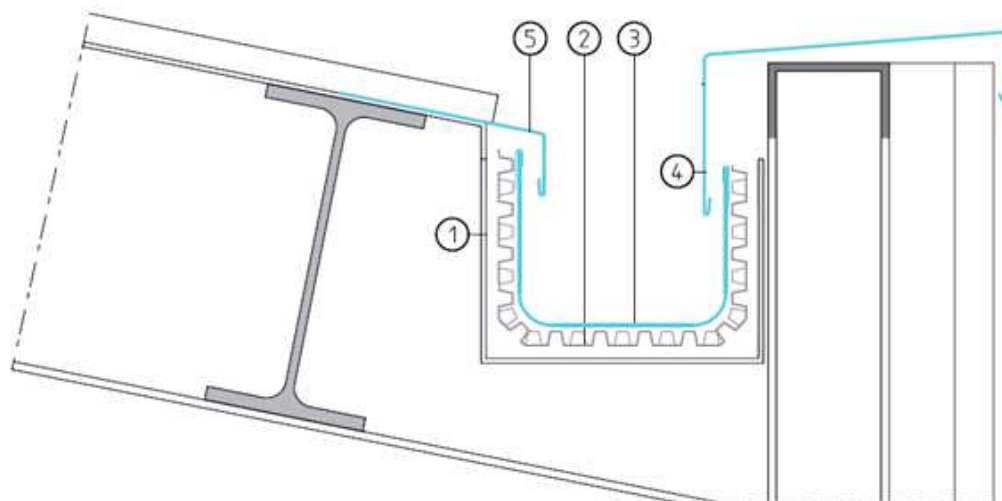


Figura 38 – Algeroz
[6]



- 1 – Apoio de caleira
- 2 – Filme PEAD
- 3 – Algeroz
- 4 – Rufo de capeamento
- 5 – Pingadeira

Figura 39 – Algeroz em construção com estrutura metálica
[37]

A sua inclinação pode ir dos 0,2 % a 1,5 %, sendo recomendados podendo afirmar-se que pela prática corrente, valores entre os 0,5 % e 1 %. Deve-se assegurar que a altura da lâmina líquida não ultrapassa 7/10 da altura da secção transversal. Os algerozes devem ser dotados de tubos de aviso, também conhecidos por tubos ladrão ou *trop-lines*, para que em caso de obstrução a água encontre aí uma saída alternativa, dando o alerta de entupimento. Este elemento deve ser colocado acima da base do algeroz no mesmo alinhamento vertical do tubo de queda. A sua cota de soleira deve estar sempre abaixo do encaixe do algeroz com os elementos da cobertura, para não existir risco de inundação.

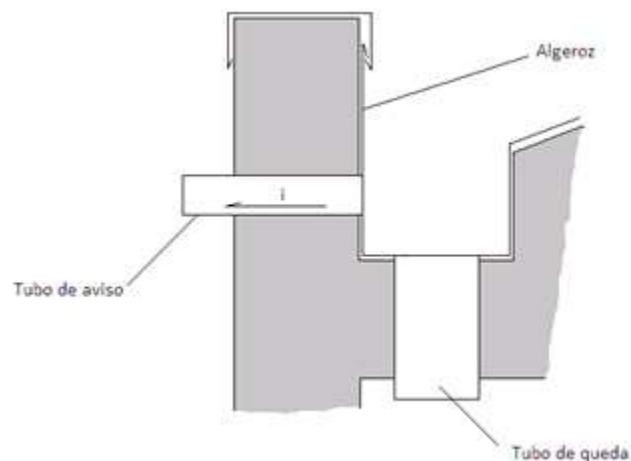


Figura 40 – Pormenor de tubo de ladrão

4.3.7.1.1 - Dimensionamento de caleiras e algerozes

O dimensionamento, segundo o RGSPDADAR [29], determina que o caudal de cálculo deve ser calculado através de:

$$Q_c = C \cdot A \cdot I \text{ (l/min)}$$

Q_c – Caudal de cálculo a escoar (l/min)

C – Coeficiente de escoamento (para coberturas de edifícios $k = 1$)

A – Área a drenar (m²) em projeção horizontal

I – Intensidade de precipitação (l/min. m²)

A intensidade de precipitação é obtida com base nas curvas de intensidade, duração e frequência (curvas I-D-F), tendo em conta um período de retorno de 5 anos (ou 50 em sistemas com riscos especiais de inundação) e duração de precipitação de 5 minutos. O território está dividido em 3 regiões conforme o indicado no Anexo 3 [32]. Os valores para o período e duração indicados, podem ser observados no Quadro 4 [32].

O valor da intensidade de precipitação é calculado a partir da expressão:

$$I = a. t^b$$

Em que a e b são parâmetros de ajustamento, indicados no Quadro 3 [32], e t é a duração da precipitação.

Período de retorno (anos)	Regiões pluviométricas					
	A		B		C	
	a	b	a	b	a	b
5	259,26	-0,562	207,41	-0,562	311,11	-0,562
10	290,26	-0,549	232,21	-0,549	348,82	-0,549
20	317,74	-0,538	254,19	-0,538	381,29	-0,538
50	349,54	-0,524	279,63	-0,524	419,45	-0,524
100	365,62	-0,508	292,50	-0,508	438,75	-0,508

Quadro 3 – Valores dos parâmetros a e b

Período de retorno (anos)	Regiões pluviométricas		
	A	B	C
5	1,75	1,40	2,10

Quadro 4 – Valores de precipitação (l/min.m²) para as diferentes regiões pluviométricas

O dimensionamento das calceiras e algerozes deve ser efetuado com base na equação de Gaucher – Manning – Strickler, tendo em conta que a altura da lâmina líquida não excede 7/10 da altura da secção. A expressão é a seguinte:

$$Q_c = K \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Q_c – Caudal de cálculo (m^3/s)

K – Constante de rugosidade ($\text{m}^{1/3}/\text{s}^{-1}$)

A – secção ocupada pela água (m^2)

R – Raio hidráulico (m)

i – inclinação (m/m)

Para secções semicirculares o raio hidráulico R , e a área que é ocupada pela água podem ser obtidos em função do quociente entre a altura da lâmina líquida, h , e o diâmetro da calceira ou algeroz, D . Assim e considerando que a relação h/D é 0,35, tem-se:

$$D = [Q_c / (K \cdot 0,08195 \cdot i^{1/2})]^{3/8} \quad (\text{m})$$

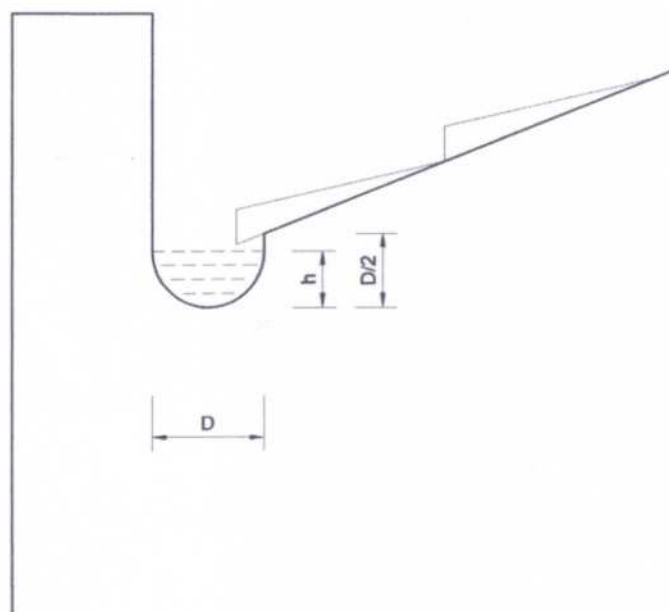


Figura 41 – Calceira de secção semicircular

[32]

Para secções retangulares e com $h=0,70.a$, obtendo-se a partir da equação:

$$Q_c = K. [b.7.a/10]. [A/(b + 14.a/10)]^{2/3}. i^{1/2} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

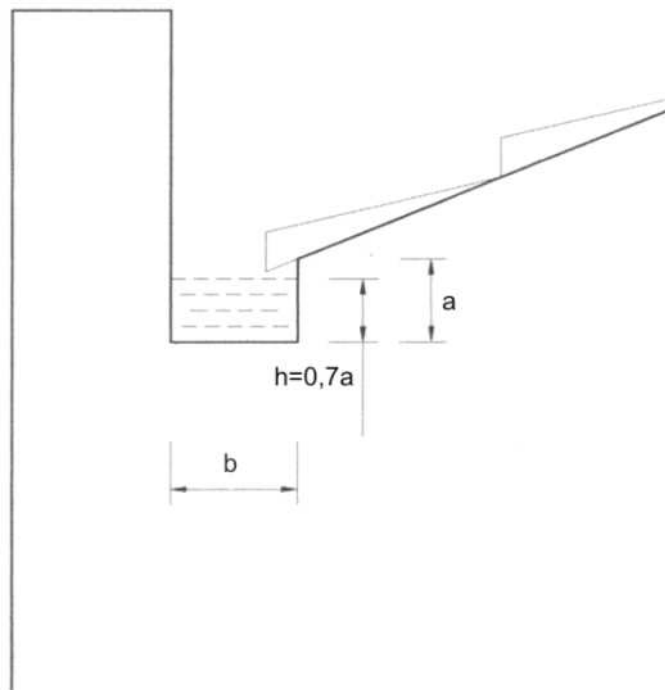


Figura 42 – Caldeira de seção retangular

[32]

Partindo do conhecimento destes dados, pode-se calcular a seção da caldeira ou do algeroz admitindo uma inclinação i , igual ou superior a 0,5 % conforme já indicado anteriormente.

A colocação destes elementos em obra deve ser cuidadosa, pois trata-se de uma parte da cobertura de grande importância e onde se registam o maior número de anomalias e, conseqüentemente, infiltrações de água. É vulgar verificar-se a rotura de soldaduras ou até mesmo do material em caldeiras e algerozes, se bem que nas caldeiras o caso é menos problemático porque estão fora da área coberta. Posto isto é fundamental o

dimensionamento da secção a utilizar e secções a jusante de forma a não haver estrangulamento no escoamento da água. Se a caleira ou o algeroz não estiverem convenientemente dimensionados, pode verificar-se o transbordo de água, e esta infiltrar-se para o interior da cobertura e restante construção inferior.

4.3.7.2 - Tubos de queda

Estes elementos podem apresentar variados diâmetros, existindo no mercado medidas *standard* de 80 e 100 mm, sendo ainda possível fabricar tubos com outras medidas. Os tubos também podem ser executados com secção retangular, com medidas que vão 6x8 cm até 8x12 cm, por exemplo. Os troços devem ser retos, aprumados e disporem de abraçadeiras de fixação à base de suporte. Tanto o zinco como o cobre proporcionam uma enorme possibilidade de fabrico de ramais, curvas, ângulos e forquilhas que complementam o sistema de drenagem. Evita-se o recurso a outros materiais, como o PVC ou ferro fundido, que causariam problemas na compatibilização de diferentes materiais nas ligações. Os diâmetros a utilizar não devem ser inferiores a 50 mm.

4.3.7.2.1 – Dimensionamento

O seu dimensionamento é efetuado através da seguinte expressão:

$$Q_c = [\alpha + \beta \cdot h/D] \cdot \pi \cdot D \cdot h \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{1/2} \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Q_c – caudal de cálculo (m³/s)

α – constante que depende da entrada no tubo de queda, com o valor de:

0,453 para entrada em aresta viva

0,578 para entrada cónica

β – constante igual a 0,35

h – carga no tubo de queda (m)

D – diâmetro interior do tubo de queda (m)

g – aceleração da gravidade (m/s²)

Para as seguintes situações:

- Comprimento L do tubo de queda maior ou igual a 40 . D e entrada para o tubo com aresta viva;
- Comprimento L do tubo de queda maior que 1,00 m e aresta cônica;

Para situações em que o comprimento do tubo de queda é inferior a 40 . D ou a 1,00 m, a expressão de cálculo é:

$$Q_c = C \cdot S \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{1/2} \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Com C, coeficiente de escoamento, igual a 0,50 e S como secção do tubo de queda em m².

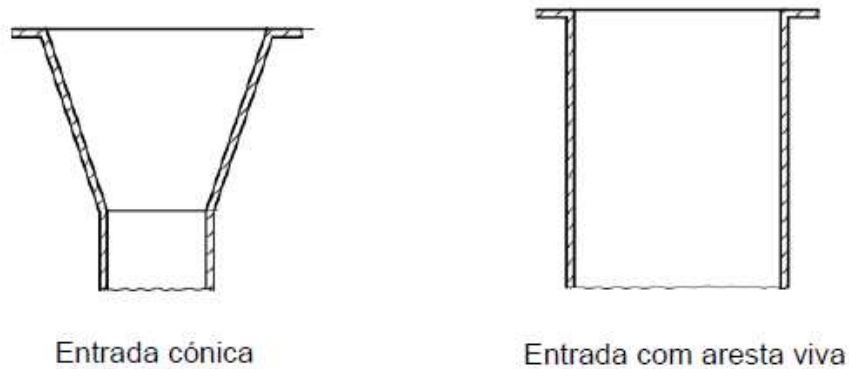


Figura 43 – Tipo de entrada nos tubos de queda

[32]

4.3.8 – Juntas de dilatação

Como já tratado anteriormente, a dilatação é uma questão fundamental para o bom funcionamento destes sistemas. É possível realizar juntas de dilatação no interior das caleiras ou algerozes, sem colocar em causa o seu bom funcionamento. Existem duas formas de realizar as juntas:

- Tradicional – em que é executada com o próprio material da caleira ou algeroz, sendo criada uma junta com dimensão suficiente para permitir o movimento dos troços em causa

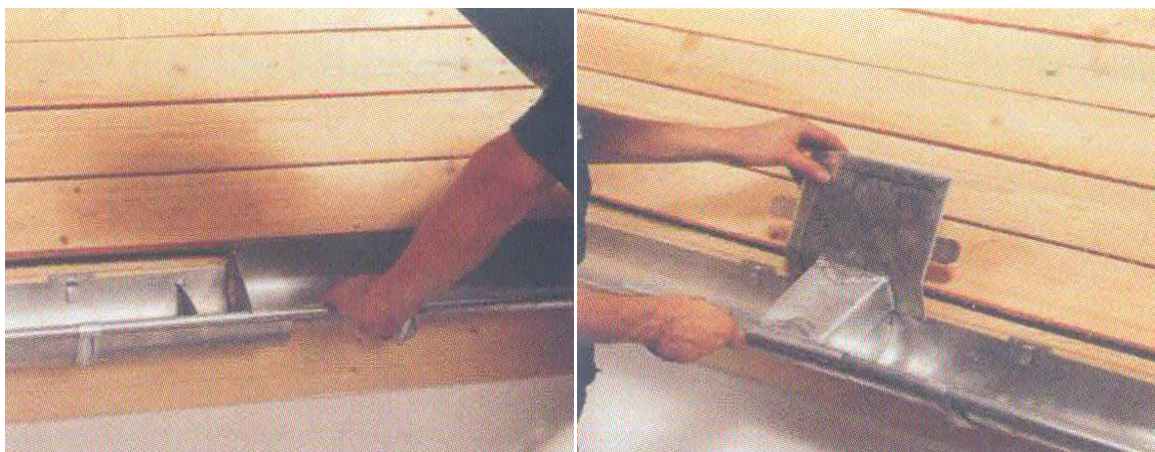
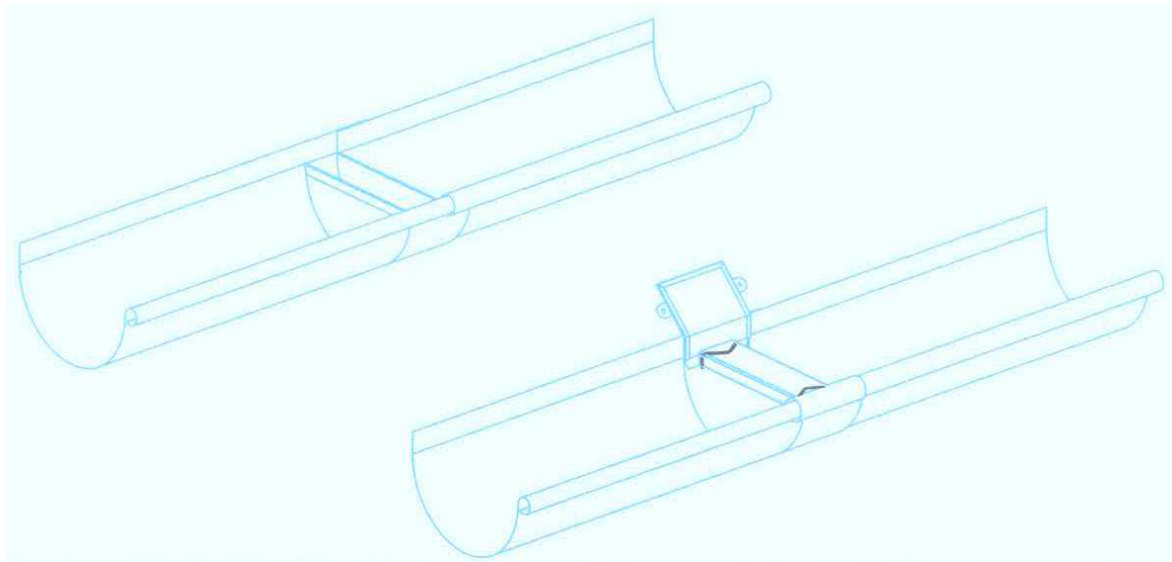


Figura 44 – Junta de dilatação tradicional

[33]

- Juntas de dilatação – são constituídas por uma lâmina de EPDM (Etileno-Propileno-Dieno), vulcanizada em duas tiras de zinco ou de cobre de forma a se poder soldar aos troços de calceira ou algeroz; o EPDM confere à junta resistência aos raios ultravioleta e às diversas condições climatéricas, incluindo a variação de temperatura dentro do intervalo de -20°C a 80°C .



Figura 45 – Colocação de junta de dilatação
[40]

A localização da junta tem de ter em conta o comprimento livre dos troços de calceira ou algeroz a ligar, conforme o Quadro 6 [15].

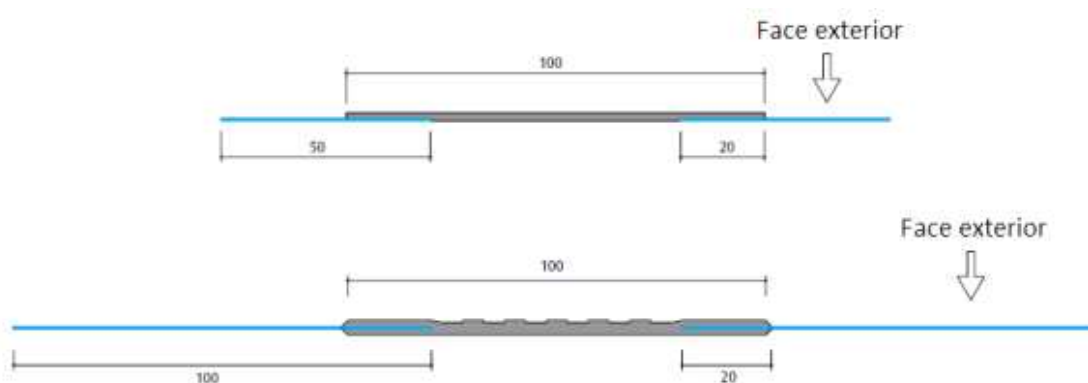


Figura 46 – Dimensões de junta de dilatação
[33]

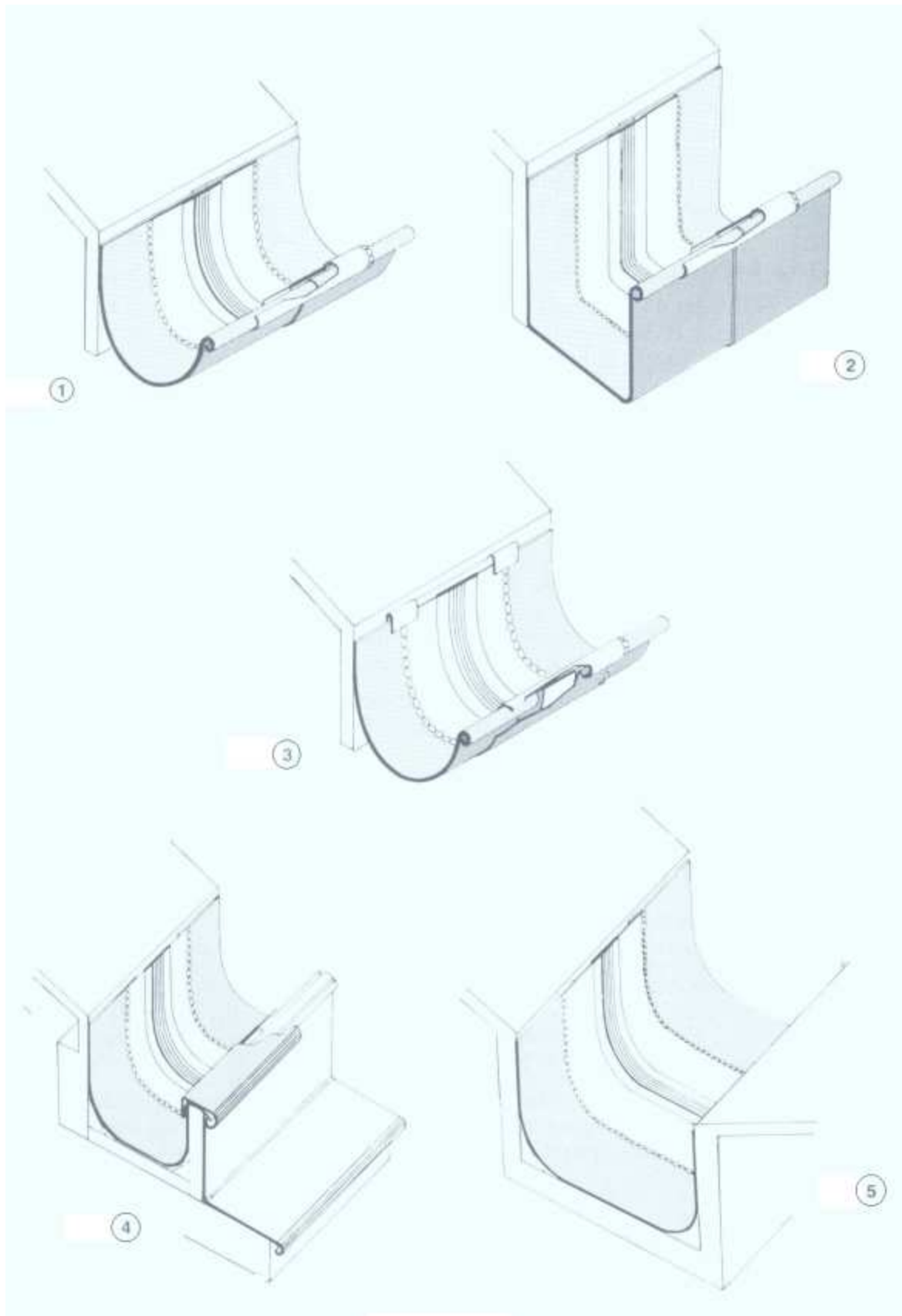
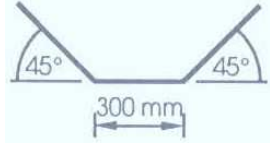
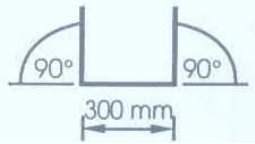
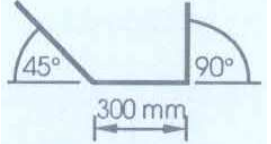


Figura 47 – Colocação de junta de dilatação em diferentes situações
[15]

Tipo de aplicação	Figura	d - desenvolvimento da caleira / algeroz (mm)			
		d > 500	500 >d>650	650 >d>800	800 >d>1000
Caleira de beiral	1, 2 e 3	15,00 m			
Algeroz	4 e 5	12,00 m	10,00 m	8,00 m	6,00 m

Quadro 5 – Comprimentos admissíveis para colocação de juntas de dilatação

No caso do cobre é recomendado por Chapman (2006) [4] seguir as indicações do ábaco da Figura 48, assim como do Quadro 6.

Espessura do cobre	 Abas laterais a 45°	 Abas laterais a 90°	 Abas laterais a 45° e 90°
0,60 mm	2,50 m	3,50 m	3,00 m
0,70 mm	5,15 m	7,00 m	6,08 m

Quadro 6 – Exemplo de cálculo do posicionamento da junta de dilatação

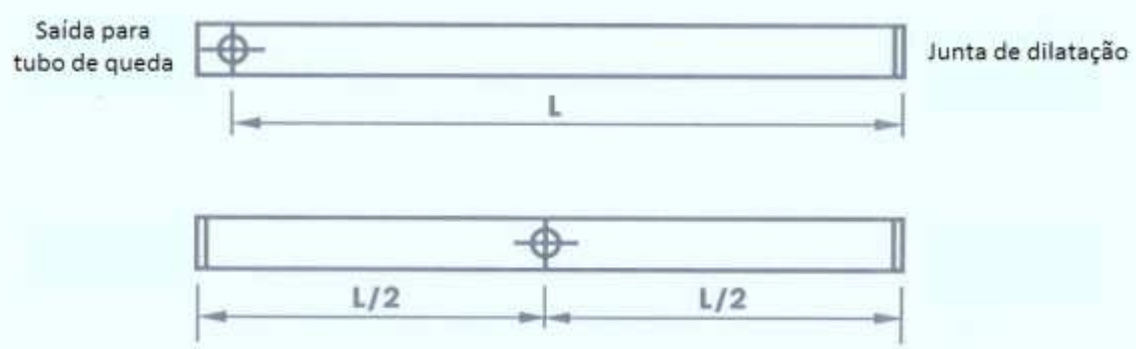
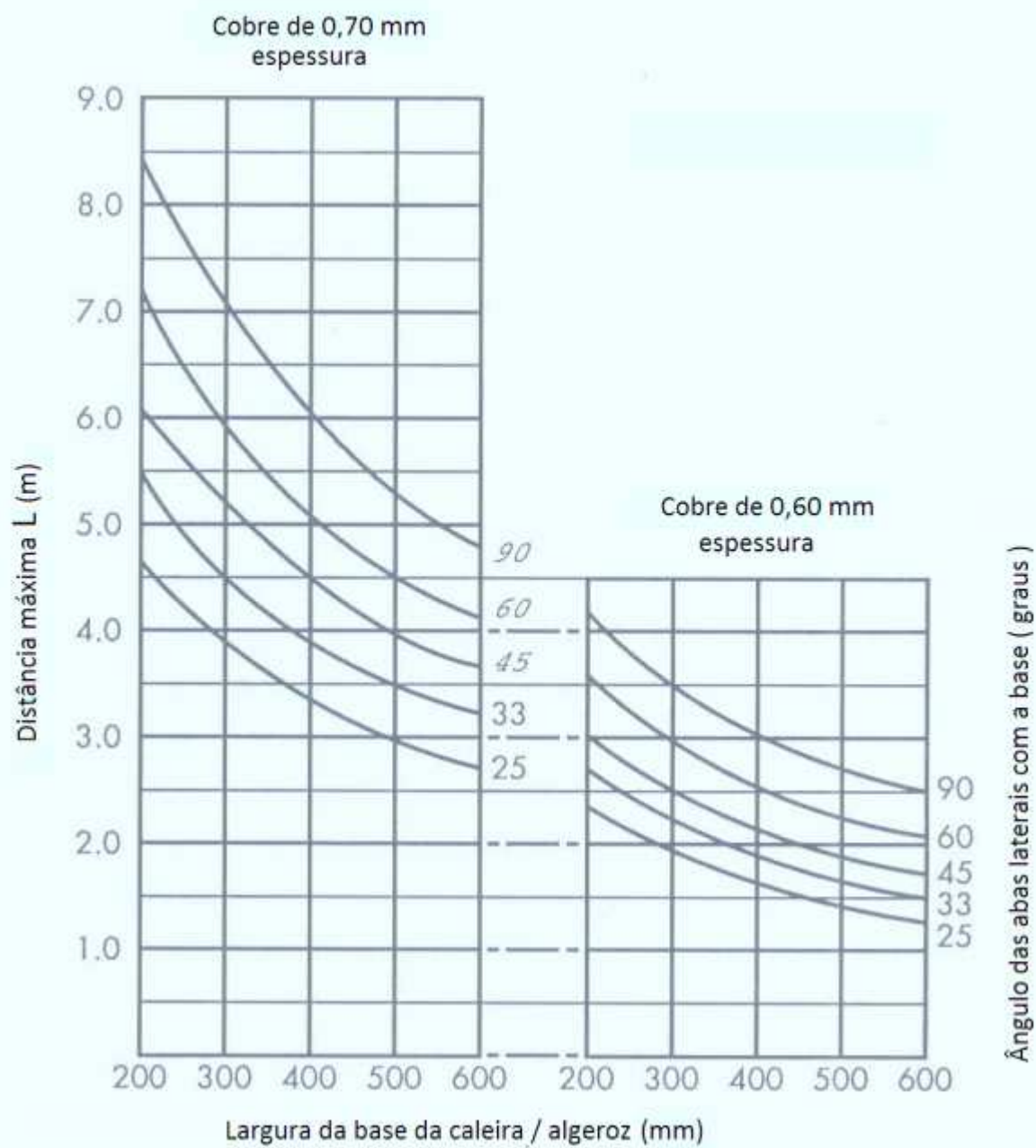


Figura 48 – Ábaco para dimensionamento de junta de dilatação

4.3.9 - Soldadura

Já foram abordadas as ligações entre os diversos elementos através de encaixes, engates e sobreposições. Existe no entanto a necessidade de recorrer a soldadura em determinadas situações. É uma operação simples mas que exige um cuidado extremo, para que não se verifiquem roturas no futuro. A soldadura do zinco e do cobre é diferente da de outros metais, porque não existe fusão do material. O procedimento é adicionar uma liga, constituída por chumbo e estanho. As percentagens destes dois componentes são as indicadas no Quadro 7 [33].

Percentagem de estanho	Percentagem de chumbo
28 %	72 %
33 %	67 %
40 %	60 %
50 %	50 %

Quadro 7 – Composição corrente das barras de solda

As mais correntemente utilizadas, são as indicadas na segunda e terceira linha. A soldadura é efetuada com recurso a uma barra com cerca de 30 cm de comprimento. A qualidade da soldadura depende da penetração da liga chumbo/estanho entre os elementos a ligar. As zonas de contacto devem ser limpas e decapadas com ácido muriático, de forma a retirar sujidade e oxidação. Através do aquecimento da barra de estanho-chumbo, esta atinge o seu ponto de fusão, mais baixo que o do metal a ligar, ficando líquida e permitindo que penetre entre as peças a ligar. No final realiza-se um cordão de solda exterior, de forma a selar a soldadura. Este tipo de soldadura tem a vantagem de não fragilizar o zinco e o cobre, porque o metal não é fundido, mantendo assim as suas principais características.



Figura 49 – marcação de limite da soldadura e decapagem
[33]

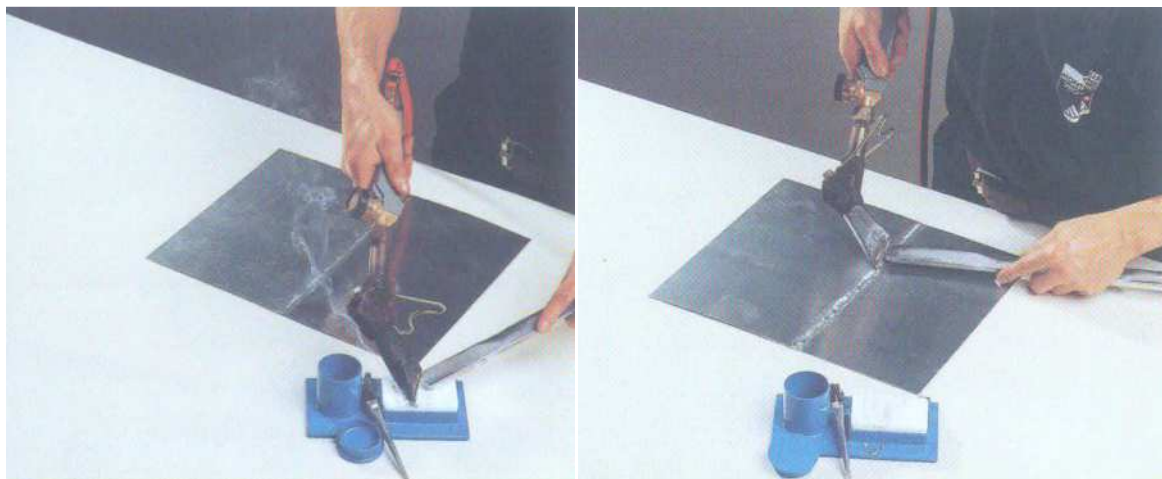


Figura 50 – Utilização de aparelho de soldar para derreter barra de solda
[33]



Figura 51 - Execução de soldadura
[33]

4.4 – Isolamento Térmico

Nos sistemas de cobertura e fachada em zinco ou cobre, o isolamento térmico assume um papel relevante na obtenção dos valores do coeficiente de transmissão térmica impostos como requisitos mínimos ou ainda mais como requisitos de referência, no RCCTE [27]. Existem várias possibilidades para a constituição de coberturas e fachadas. As camadas dos diferentes materiais podem ser dispostas de formas variadas dependendo da base de apoio, tipo de isolamento térmico, existência de caixa-de-ar, ventiladas ou não. A colocação de isolamento térmico pelo exterior é uma das possibilidades destes sistemas. As principais vantagens que se apontam para esta solução construtiva são [28]:

- Isolamento térmico mais eficiente;
- Proteção das paredes contra agentes atmosféricos;
- Ausência de descontinuidade na camada isolante;
- Supressão de “pontes térmicas” e conseqüente redução de risco de condensações;
- Maximização da inércia térmica das paredes;
- Manutenção das dimensões dos espaços interiores;
- Menores riscos de incêndio e toxicidade;
- Possibilidade de ocupação do edifício durante a fase de obras (de reabilitação);
- Melhoria do aspeto exterior do edifício.

A colocação do isolamento pelo exterior e o seu revestimento com zinco ou cobre, reduz substancialmente a vulnerabilidade da parede ao choque ao nível do rés-do-chão, assim como não existe risco de fendilhação do material final de acabamento.

4.4.1 - Tipo de isolamento

O isolamento térmico a utilizar sob o revestimento de zinco ou cobre, deve ter uma massa volúmica mínima de 35,0 kg/m³ e resistência à compressão (com 10 % de deformação) de 300,00 kN/m², no caso de isolamento XPS. No caso de lã de rocha, a sua massa volúmica não pode ser inferior a 135,00 kg/m³ e resistência à compressão de 300,00 kN/m², de forma a garantir uma compactidade que permita ao pessoal da montagem deslocar-se sem amolgar o material e conseqüentemente o zinco ou o cobre. A lã de vidro não é aceitável visto que não atinge os valores fornecidos pela lã de rocha. As densidades indicadas garantem que o material de isolamento não perde espessura com o passar do tempo, o que colocaria em risco todo o revestimento. Por isso o isolamento de poliestireno expandido ou lã mineral de baixa densidade, estão totalmente contra-indicados. Para além disso, os materiais de alta densidade fornecem estabilidade para o assentamento das presilhas de fixação, nas condições já descritas anteriormente.

Materiais isolantes projetados, como o poliuretano, são compatíveis com o revestimento metálico mas não fornecem uma base uniforme e contínua. Por isso é normal que fiquem numa caixa-de-ar, que depois é fechada com uma estrutura de apoio para o zinco ou cobre.

4.4.2 – Isolamento térmico em coberturas

A colocação do isolamento em coberturas, na maioria das soluções construtivas que se adotam em Portugal, é efetuada pelo exterior. A cobertura pode ser plana, de baixa pendente, ou com vertentes de várias águas. No que se refere às coberturas de várias vertentes, normalmente com pendentes elevadas, estas proporcionam um desvão que pode ou não ser ocupado. Quando o desvão não é habitado é preferível colocar o isolamento na esteira horizontal, pois não é necessário despender energia para ao aquecimento deste

espaço na estação fria. Na estação quente há um melhor desempenho térmico, devido à dissipação do calor face à conveniente ventilação deste espaço. Para além disto é também uma solução mais económica, pois a área da esteira é menor do que a das águas da cobertura. O custo fica praticamente reduzido ao do material, visto que a mão-de-obra tem um valor irrisório.

Quando o desvão é habitado o isolamento deve ser colocado nas águas da cobertura. A colocação do isolamento pelo exterior é sempre preferível na perspetiva da térmica. No caso de ser colocado sobre uma outra estrutura, forro de madeira por exemplo, que permite criar uma caixa-de-ar o ganho em termos térmico é maior do que diretamente sobre a laje de cobertura. Tendo em conta as tendências da arquitetura nos últimos anos, com o recurso a coberturas planas de baixa inclinação, a maioria das soluções passa pela colocação do isolamento entre o zinco ou cobre e a estrutura de betão.

4.4.3- Isolamento térmico em fachadas

Em fachadas as soluções existentes são similares às de cobertura. A colocação do isolamento no interior da caixa-de-ar é ainda uma solução corrente na construção em Portugal. A colocação do isolamento pelo exterior tem vindo nos últimos anos a ganhar espaço entre as soluções construtivas. Entre as mais comuns destacam-se as fachadas revestidas a ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems*) e as revestidas a pedra, chamadas de fachadas ventiladas, em que o isolamento aparece pelo exterior associado a uma caixa-de-ar ventilada. Existem sistemas de fachada formados por painéis em zinco ou cobre com fixação a estrutura secundária de apoio formando um espaço de ar ventilado entre o revestimento e a parede.

4.4.4. Coeficientes de transmissão térmica

São muito comuns as dúvidas levantadas acerca do contributo do zinco ou do cobre para o comportamento térmico da envolvente exterior de um edifício. As questões mais comuns prendem-se com a possibilidade do espaço interior ficar demasiado quente no verão e assim ser necessário um investimento considerável em energia de arrefecimento.

Considerando três soluções de parede e duas de cobertura será verificado o contributo do material de revestimento para esta questão.

O princípio geral de qualquer uma das soluções estudadas parte das premissas já abordadas em termos de compatibilidade de materiais de suporte, fixações e isolamento térmico. São soluções correntes na construção de edifícios em Portugal, daí que existe uma vertente prática nesta abordagem. Procura-se assim ir ao encontro das soluções mais correntes de forma a esclarecer as dúvidas mais comuns.

A constituição das soluções, em termos gerais, passa por:

- Estrutura de suporte em alvenaria nas paredes e betão armado em coberturas;
- Isolamento térmico na caixa-de-ar, no caso de parede dupla, ou pelo exterior;
- Suporte do revestimento final na estrutura, alvenarias ou estrutura secundária;
- Existência ou não de ventilação na lâmina ou caixa-de-ar.

Dos pontos referidos destaca-se a questão da ventilação da lâmina ou caixa-de-ar. Esta camada fica imediatamente abaixo do zinco ou do cobre, constituída pelo filme de alta densidade com nódulos que permitem a passagem de ar nos seus intervalos. Outra solução, muito comum, é que esta camada fique entre os dois panos de parede em caso de paredes duplas e na camada que fica entre a estrutura secundária de apoio e a base estrutural.

Estes espaços de ar podem ser ou não ventilados e coloca questões acerca da influência que tem no comportamento térmico da envolvente. Em termos de higrometria a existência de espaço de ar ventilado é benéfico, como já tratado no ponto 4.3.4.

5 – ESTUDO DE UM SISTEMA – SISTEMA DE JUNTA AGRAFADA

5.1 - Sistema em coberturas

5.1.1 - Princípio geral

O princípio do sistema consiste em juntar os elementos de zinco ou cobre laminado, através de chapas com um encaixe macho/fêmea, formando uma junta ao longo do comprimento, que é fechado após colocação de fixações no interior dessa junta. A finalidade é impermeabilizar as superfícies na envolvente exterior dos edifícios, seja em cobertura ou fachada.



Figura 52 – Igreja dos Pastorinhos em Alverca – Cobertura em zinco com sistema de Junta Agrafada

Os elementos que compõem o sistema são perfilados ou quinados em equipamento próprio podendo ser preparados, pré-fabricados e posteriormente montados em obra. A sua largura (L) pode variar desde os 0,43 m e os 0,58 m, sendo que outras medidas também são possíveis. A altura de junta é de 25 mm. Os comprimentos variam em função da necessidade da obra, havendo no entanto limites a respeitar em função de alguns aspetos que serão abordados mais à frente.

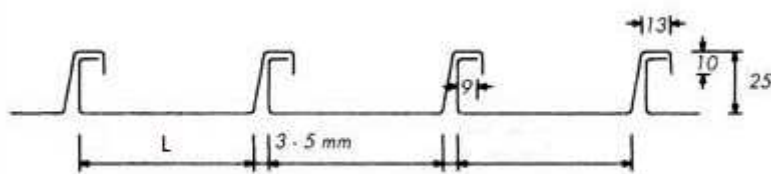


Figura 53 – Dimensões das chapas de Junta Agrafada

A banda comercial das bobines vai dos 0,50 m a 1,00 m. A junta, com a configuração e dimensões da Figura 53 [16], corresponde a um desenvolvimento total de 7 cm daí que, para racionamento económico, resultam chapas com as seguintes dimensões:

Material	Largura comercial das bobines	Largura pós-perfilagem L
Zinco	0,50 m	0,43 m
	0,65 m	0,58 m
Cobre	0,50 m	0,43 m
	0,67 m	0,60 m

Quadro 8 – Largura comercial de bobines e larguras pós-perfilagem L

Os elementos são cortados ao comprimento e posteriormente passados numa máquina de perfilar [24].



Figura 54 – Máquina de perfilar Junta Agrafada

5.1.2 - Pendente

5.1.2.1 - Critérios de dimensionamento

O limite de dimensão das chapas, no que respeita ao comprimento, é condicionado pela pendente adotada. As características físicas do material obrigam a uma boa gestão do fenómeno da dilatação. De lembrar que estamos em presença de materiais com coeficientes de dilatação consideráveis. Sendo estes sistemas baseados em encaixes e engates entre os diversos elementos, a dilatação dos mesmos ganha importância na segurança e durabilidade do sistema.

Os comprimentos máximos amissíveis são [33]:

- Pendente de 5% a 60 % (3° a 30°) - comprimento máximo de 13,00 m;
- Pendente superior a 60 % - comprimento máximo de 10,00 m.

No caso de fachadas, os comprimentos devem ser limitados de 4,00 m a 6,00 m de forma a evitar empenos e ondulação excessiva nas chapas, assim como limitar o esforço de corte a que ficam sujeitas as fixações. Os comprimentos superiores estão sempre sujeitos a verificação de acordo com o pretendido em projeto, visto que depende da orientação das

juntas, sejam horizontais, verticais ou em angulo. A exposição solar é também um aspeto importante, que influi na dilatação do material. Este fenómeno pode levar a uma deformação excessiva dos elementos que pode provocar o desencaixe dos mesmos. Em relação ao aspeto estético, se o comprimento for excessivo aliado à largura, a deformação pode provocar ondulação dos elementos, que tem um impacto negativo em termos visuais. No gráfico da figura 55 [34] é possível verificar os diferentes comprimentos que se podem adotar, em função da pendente da cobertura. Quanto maior for a pendente, menor é o comprimento das chapas. Esta proporcionalidade inversa tem a ver com a capacidade de dilatação dos elementos, que devem ser limitadas quando estão previstas pendentes maiores.

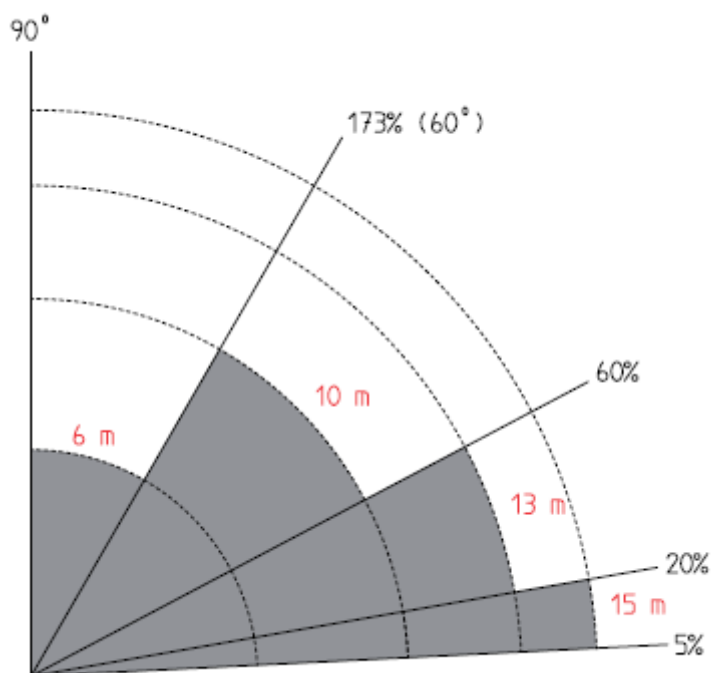
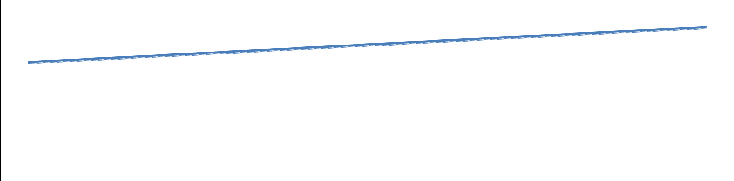
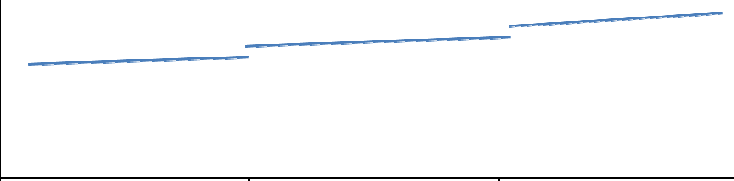
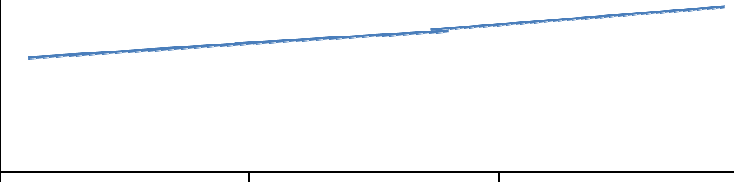


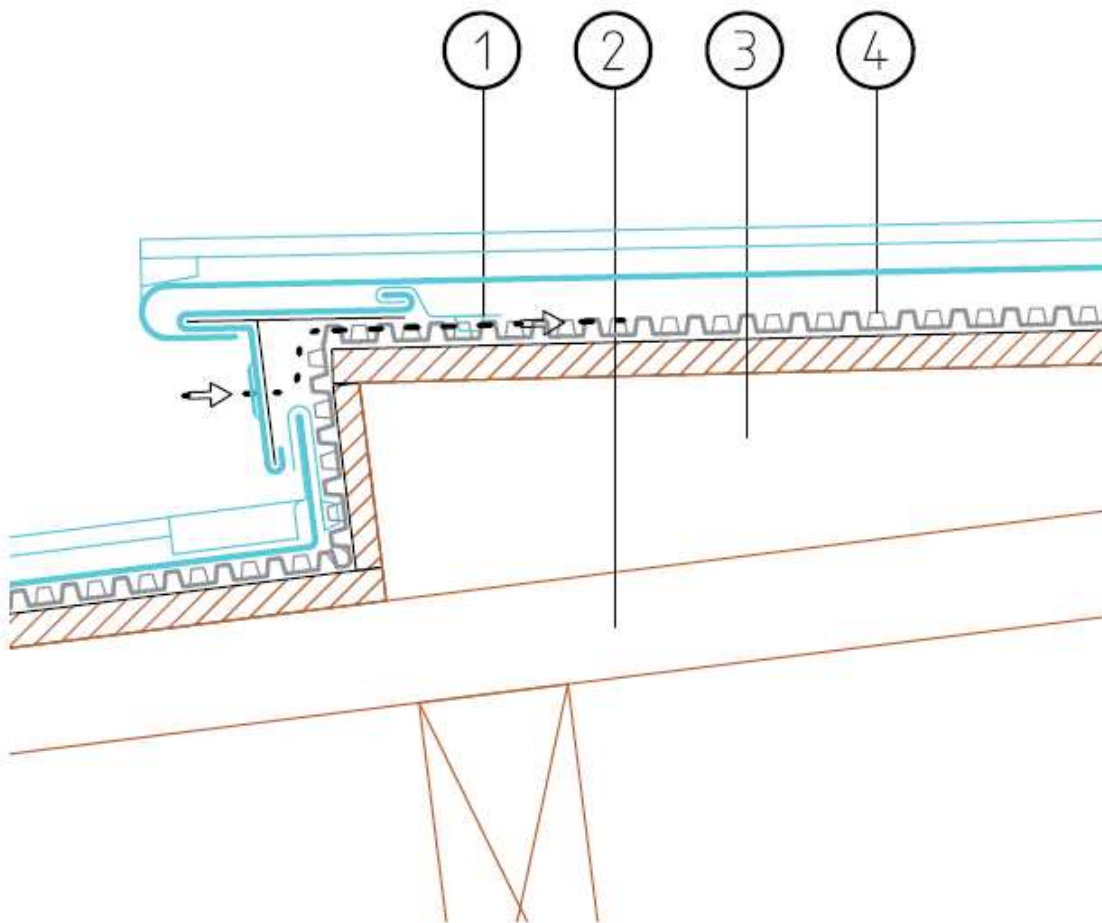
Figura 55 – Gráfico de pendentes

No Quadro 10 [33] são indicados os limites de comprimento admissíveis em função da pendente e do tipo de encaixe entre diferentes troços de chapas.

Pendente (p)	Comprimento		
Elemento único			
$5\% \leq p \leq 20\%$	15,00 m		
$20\% \leq p \leq 60\%$	13,00 m		
$60\% \leq p \leq 173\%$	10,00 m		
$173\% < p$	6,00 m		
Com ressalto			
$5\% \leq p \leq 20\%$	15,00 m	15,00 m	15,00 m
$20\% \leq p \leq 60\%$	13,00 m	13,00 m	13,00 m
$60\% \leq p \leq 173\%$	10,00 m	10,00 m	10,00 m
$173\% < p$	6,00 m	6,00 m	6,00 m
Com sobreposição			
$10\% \leq p \leq 20\%$	10,00 m	10,00 m	15,00 m
$20\% \leq p \leq 60\%$	10,00 m	10,00 m	13,00 m
$60\% \leq p \leq 173\%$	10,00 m	10,00 m	10,00 m
$173\% < p$	6,00 m	6,00 m	6,00 m

Quadro 9 – Comprimentos dos elementos de coberturas de junta Agrafada em zinco

A execução de um ressalto entre cada troço (Figura 56) [33], tem vantagens quando existe uma pendente muito baixa, perto dos 5 % porque não é viável efetuar a junta transversal com uma sobreposição. O risco de a água se conseguir infiltrar através da junta é muito elevado, pois não ganha velocidade de escoamento. Além desta situação, existe a possibilidade da água ser empurrada pelo vento e facilmente entrar na junta. Como é visível no Quadro 10, a solução de sobreposição só é permitida com pendentes superiores a 10 %.



- 1 – Presilha de fixação
- 2 – Estrutura de suporte
- 3 – Enchimento para realização de ressalto
- 4 – Filme de PEAD

Figura 56 – Pormenor de ressalto de transição entre dois troços de chapa, é visível a continuidade da ventilação no ressalto

[38]

É de referir que entre o zinco e o cobre não há grandes diferenças em termos de comprimentos dos elementos. Para uma pendente de 5%, o comprimento máximo para um elemento de cobertura em cobre é de 14,60 m (Figura 57) [4]. Em caso de pendente elevada, acima de 60 %, os comprimentos não devem ultrapassar os 8,10 m.

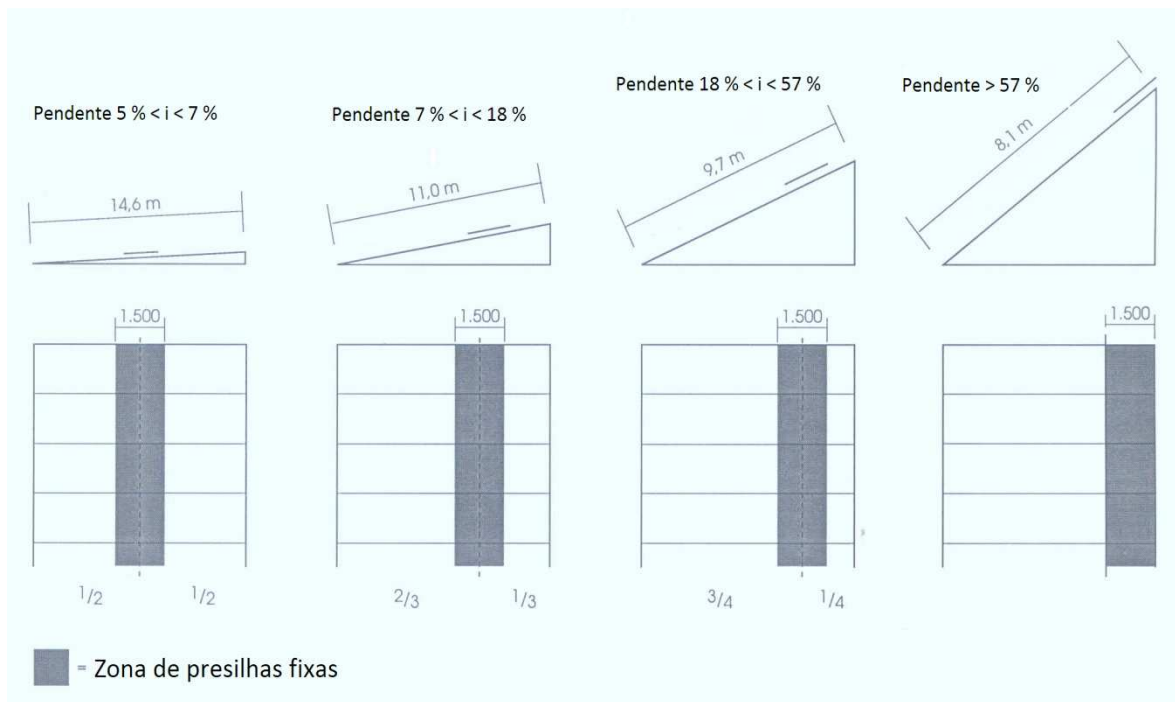


Figura 57 – Pendentes e comprimentos de chapas para coberturas em cobre

5.1.3 - Espessuras

A espessura corrente para uso na construção é de 0,65 mm no zinco e 0,60 mm no cobre.

O eventual aumento da espessura é justificado pelas seguintes condicionantes:

- Necessidade de atenuar a ondulação natural dos elementos;
- Caso de edifícios localizados em zonas de montanha;
- Em elementos com desenvolvimento superior a 0,80 m.

Associado à espessura está o peso do material, pois é de grande importância no dimensionamento da estrutura de suporte do revestimento. Os valores por m^2 são os seguintes:

Espessuras (mm)	Peso (kg/ m ²)
Zinco	
0,65	4,68
0,70	5,04
0,80	5,76
1,00	7,20
Cobre	
0,60	5,45
0,70	6,35
0,80	7,25
1,00	9,12

Quadro 10 – Espessuras

5.1.4 - Cálculo da largura

Em função da pressão do vento, a largura das chapas de junta agrafada estão limitadas a um máximo de 0,58 m para o zinco e 0,60 para o cobre, de acordo com o Quadro 12. O ponto de partida para cada projeto, são sempre as dimensões indicadas. No entanto existem situações a que se deve ter atenção:

- Locais de grande exposição ao vento, junto à orla marítima ou meio montanhoso;
- A Junta Agrafada em fachadas, pode apresentar uma ligeira ondulação, que pode ser combatida adotando larguras inferiores.

Nestas situações a largura deve ser reduzida. Uma forma simplificada e recomendada pela norma NBE-AE/88 e mencionada por Chapman (2006) [4], é partir do conhecimento da carga do vento e obter a largura.

Largura da chapa (m)	Pressão do vento (kg/m ²)	
	Chapas de cobre com espessura de 0,60 mm	Chapas de cobre com espessura de 0,70 mm
0,60	≤ 80	≤ 140
0,53	≤ 150	≤ 180
0,43	≤ 180	≤ 250

Quadro 11 – Calculo da largura para cobertura e fachadas em cobre

5.1.5 - Presilhas de fixação

As presilhas de fixação deste sistema são do tipo móvel ou fixo. São em aço inox austenítico, do tipo AISI 304, com espessura de 0,60 mm na peça que constitui a base de fixação. As presilhas móveis possuem uma peça que corre sobre a base da presilha, em aço inox de 0,40 mm de espessura, que permite ficar no interior da junta sem alterar a espessura da mesma. As dimensões das presilhas são as seguintes:

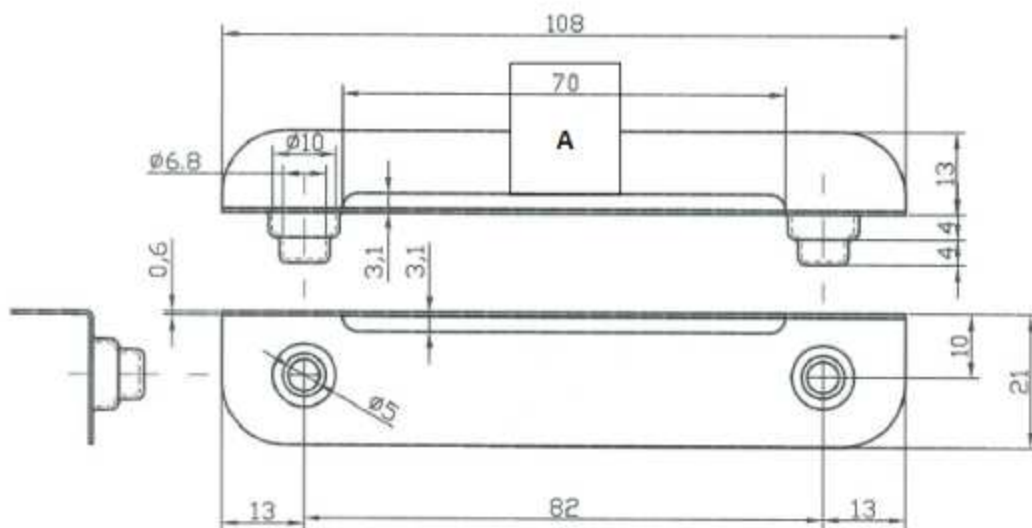


Figura 58 – Base da presilha móvel

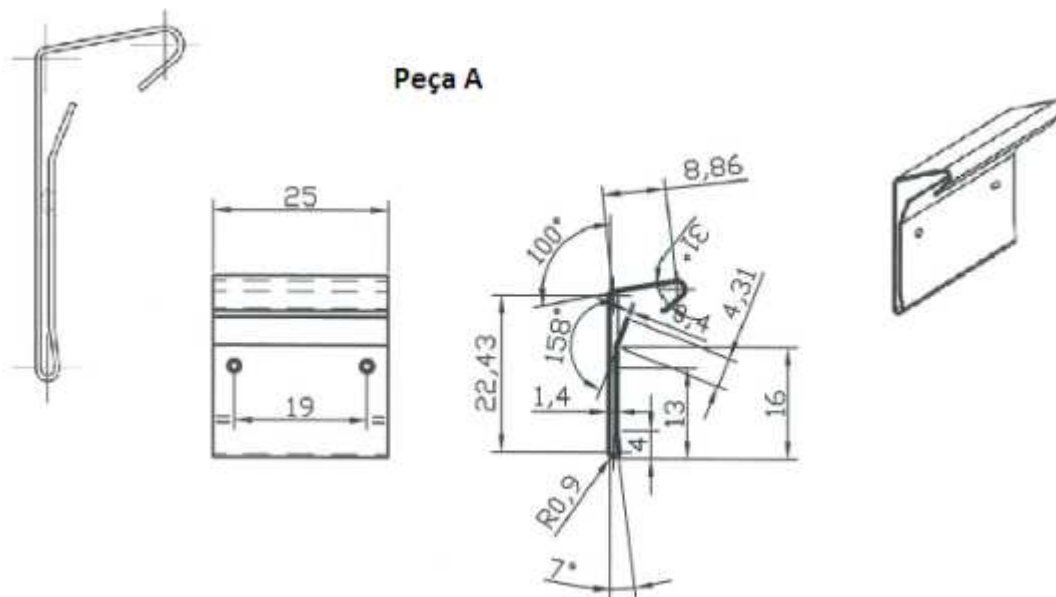


Figura 59 – Peça “A” que corre na base da presilha móvel

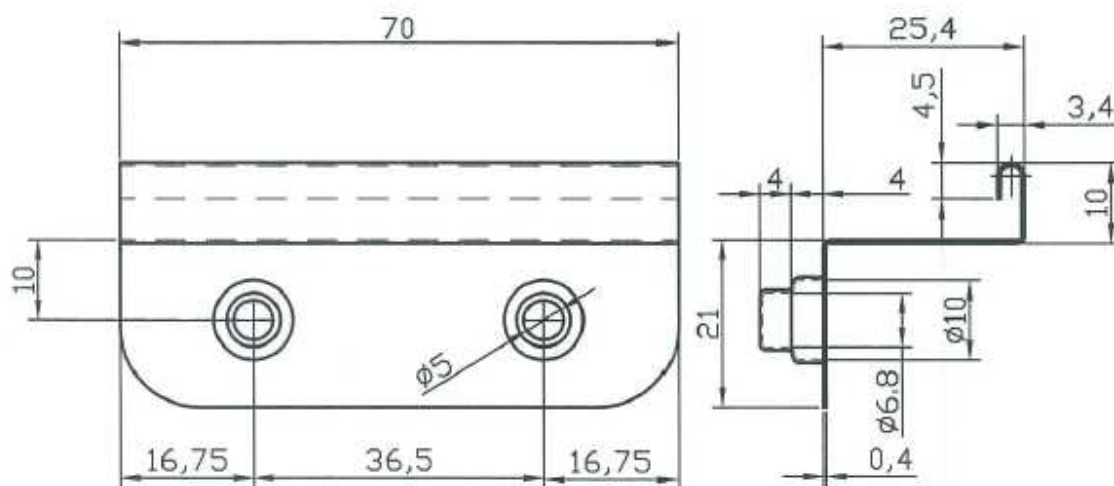


Figura 60 – Presilha fixa

Estas presilhas são colocadas sobre a junta “fêmea” das chapas, separadas por uma distância que vai desde os 0,33 m a 0,50 m, de acordo com o cálculo que se faz em função do local e exposição do elemento a revestir. Após esta operação são aplicados parafusos

que fixam em definitivo a presilha à base de suporte. Por sua vez o lado “macho” da chapa seguinte é encaixado na junta “fêmea” e, posteriormente, fechada (Figura 61) [41].

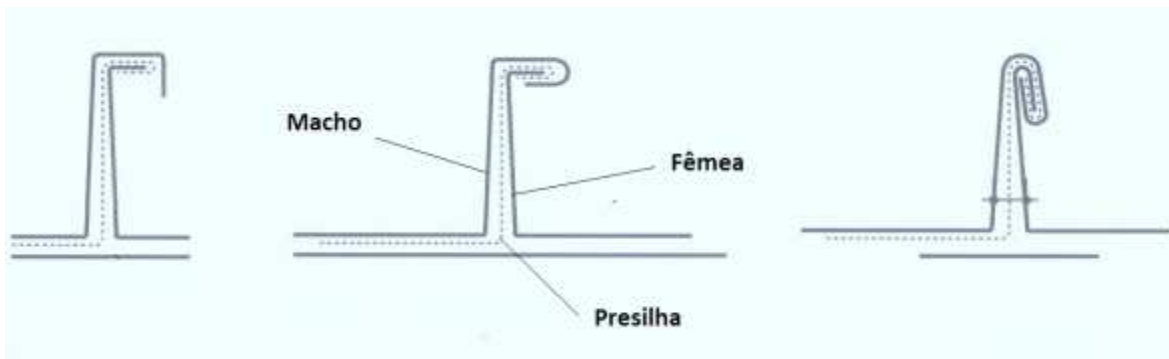


Figura 61 – Junta com presilha instalada



Figura 62 – Presilha móvel engatada na chapa

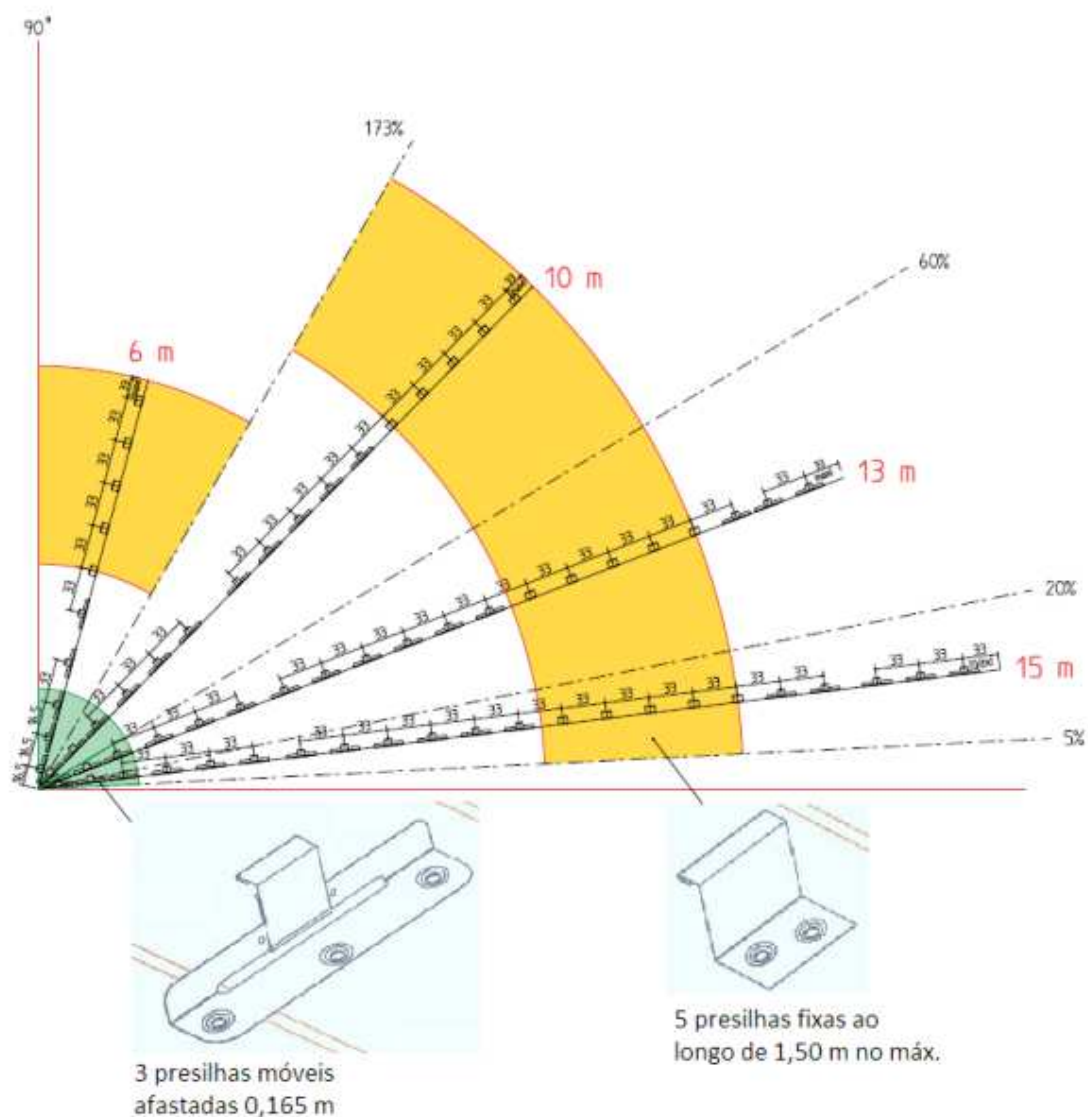


Figura 63 – Distribuição das presilhas

A distribuição das presilhas ao longo da chapa tem em conta a dilatação da mesma. A colocação de presilhas fixas, permite a fixação da chapa à base de suporte. Esta zona de fixação prolonga-se por uma extensão de 1,50 m. Fora desta zona tem lugar a colocação de presilhas móveis. À medida que a pendente aumenta, a zona de fixação das chapas vai-se aproximando do topo, permitindo assim que o peso da chapa, os movimentos de dilatação, ou seja, o “arrastamento” da chapa se faça livremente. No que se refere às baixas

pendentes, havendo uma exposição solar maior, prende-se a chapa sensivelmente aos 10 m de comprimento, permitindo que a chapa dilate em dois sentidos opostos. Esta medida possibilita limitar e igualar o comprimento de dilatação, à semelhança do que acontece quando a pendente é maior. O aumento do número de fixações junto da caleira, tem a ver com a possibilidade do vento poder forçar a chapa nessa zona e provocar o seu desengate. Na Figura 63 [34] pode-se verificar para cada comprimento de chapa, a distribuição das presilhas fixas e móveis ao longo do seu comprimento.

5.1.5.1 - Dimensionamento das fixações

O número de presilhas a colocar por área de cobertura ou fachada, têm em conta principalmente a ação do vento. Existe em praticamente todos os países da Europa informação sobre o número de presilhas a colocar baseado num cálculo específico para o efeito. As condições de exposição à ação do vento, assim como as condições do terreno, nomeadamente a rugosidade, variam conforme o país. A localização de edifícios junto à orla marítima e em zonas montanhosas, são as principais preocupações dos cálculos existentes e da maioria das especificações técnicas a ter em conta. Em Portugal, para este cálculo específico, não há informação. Existe o hábito de assumir um número de presilhas de forma empírica, 4,5 presilhas por metro quadrado. Este valor é baseado num número médio indicado nas especificações gerais destes sistemas, em França e na Alemanha.

O cálculo do número de presilhas, tendo em conta a ação do vento segundo o Eurocódigo 1 - parte 4 - ações gerais – ações do vento [19], não é ainda tido em conta nas especificações técnicas disponibilizadas pelos produtores de zinco e consequentemente pelos aplicadores destes sistemas. As indicações encontradas regem-se por normas nacionais e são essas que servem de base ao cálculo.

Em Portugal, como já referido, toma-se como adquirido o valor de 4,5 presilhas por metro quadrado, tanto para as presilhas móveis como as fixas.

Na generalidade das indicações técnicas, e nomeadamente no DIT 520-p/09 [8], o valor de resistência ao arrancamento de uma presilha é de 0,50 kN por presilha. Segundo o Guia de recommandations en Europe.[31], os ensaios de carga efetuados revelam que a presilha suporta cerca de 0,80 kN em regime elástico e entra no regime plástico quando atinge o valor de 1,10 kN. A rotura ao arrancamento dá-se aos 1,80 kN.

A fórmula para calcular a menor das distâncias é a seguinte [6]:

$$d = 0,50 / (q_e \cdot B) \text{ (m)}$$

- d – menor distancia entre presilhas (m)
- q_e - pressão dinâmica do vento (kPa)
- B - distância entre juntas conforme o Quadro 9

Cada presilha deve oferecer uma resistência ao arrancamento que pode variar em função do suporte, nomeadamente se for em madeira, tendo em conta a influência da humidade. Nestas situações é recomendável minorar a resistência das presilhas como indicado no Quadro 12 13 [6].

Grau de Humidade da madeira	Coefficiente de redução da resistência das presilhas
15 – 20 %	---
20 – 30 %	35 – 40 %
> 30 %	> 50 %

Quadro 12 – Percentagem de redução da resistência das presilhas

A pressão dinâmica do vento é obtida a partir das indicações do Eurocódigo 1 – parte 4 [19], segundo o anexo nacional.

5.1.5.1.1 - Ação do Vento

Para o cálculo do número de fixações, presilhas e parafusos, a considerar numa superfície revestida com o sistema de Junta Agrafada tem de se ter em conta, como principal ação, o vento. Esta ação, como se irá verificar, terá impacto diferente conforme a exposição da cobertura, sua configuração e localização no território.

O Eurocódigo 1-parte 4 [19], fornece os elementos necessários à obtenção do valor da ação do vento em várias situações seja de cobertura ou fachada. Serão aqui tratadas as situações mais comuns que se verificam na construção em Portugal tendo em conta as indicações do anexo nacional. As situações abordadas são as coberturas de uma ou mais vertentes, coberturas em terraço e fachadas.

A ação do vento é obtida através da seguinte expressão:

$$W_e = C_e(z) q_p \text{ (kPa)}$$

Em que:

W_e – pressão exercida pelo vento (kPa)

C_e – coeficiente de exposição

q_p – pressão dinâmica de pico (kPa)

O primeiro passo é obter o valor base da velocidade de referência do vento, V_b , tendo em conta a divisão do país em duas zonas:

Zona A – generalidade do território, à exceção da região da zona B

Zona B – os arquipélagos dos Açores e Madeira e as regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5 km de largura ou com altitudes superiores a 600 m

Segundo o Quadro NA.I do Eurocódigo 1 – parte 4 [19], a velocidade correspondente a cada zona é a seguinte:

Zona A – 27 m/s

Zona B – 30 m/s

O Eurocódigo dá indicação de que a altitude é tida em conta no zonamento do país e, conseqüentemente, na velocidade base. Para o efeito da direção do vento, tem-se em consideração um coeficiente de direção igual a 1,00. No que se refere à rugosidade, o coeficiente correspondente é determinado considerando as quatro categorias de terreno contempladas no Quadro NA-4.1 do anexo nacional (Anexo 4) [19].

O coeficiente de exposição é obtido através da figura NA-4.2 do anexo nacional e em função da altura acima do solo e da categoria do terreno considerando-se $C(z) = 1$ e $K = 1$ (Anexo 5) [19].

5.1.5.1.2 - Ações nas coberturas

5.1.5.1.2.1 - Coberturas em terraço

A norma define como cobertura em terraço as superfícies com inclinação entre -5° e 5° , ou seja, coberturas que variam desde os $-8,7\%$ e os $8,7\%$. Uma quantidade significativa de coberturas que se realizam em Portugal apresenta inclinações iguais, ou pouco superiores, a 2% como já referido anteriormente. O tratamento da ação do vento neste tipo de coberturas, é como se tratasse de um terraço, tendo em conta a existência ou não de platibandas. São indicadas no Eurocódigo 1 – parte 4 [19], Anexo Nacional, todos os coeficientes de pressão exterior e interior, necessários ao cálculo da ação do vento neste tipo de cobertura.

5.1.5.1.2.2 - Coberturas com vertentes

O Eurocódigo define as seguintes situações

- Cobertura de uma vertente
- Cobertura de duas vertentes
- Cobertura de 4 vertentes.

Os coeficientes de pressão variam em função da relação entre a direção do vento e a posição da vertente, ou seja, se a inclinação está ou não voltada à face mais exposta. São comuns as coberturas de duas vertentes em que se deve tomar em consideração os beirados que, pela sua exposição, são zonas de risco acrescido de levantamento das chapas de cobertura. É necessária especial atenção a estas zonas sendo importante um reforço das fixações, assim como não negligenciar o número de apoios no caso de se tratar de caleiras de beiral.

5.1.6 - Instalação em obra

Em obra a montagem é sequencial. Toda a obra é preparada com antecedência, verificados todos os remates necessários para que seja permitido um perfeito acabamento, e acima de tudo garantam a impermeabilização da superfície.

As etapas de montagem são as seguintes:

- Colocação do filme de PEAD e montagem da caleira e pingadeira de arranque;
- Colocação do filme de PEAD, montagem das chapas de cobertura;
- Após colocação da primeira chapa, são encaixadas as presilhas móveis e fixas (Figura 64) [41];

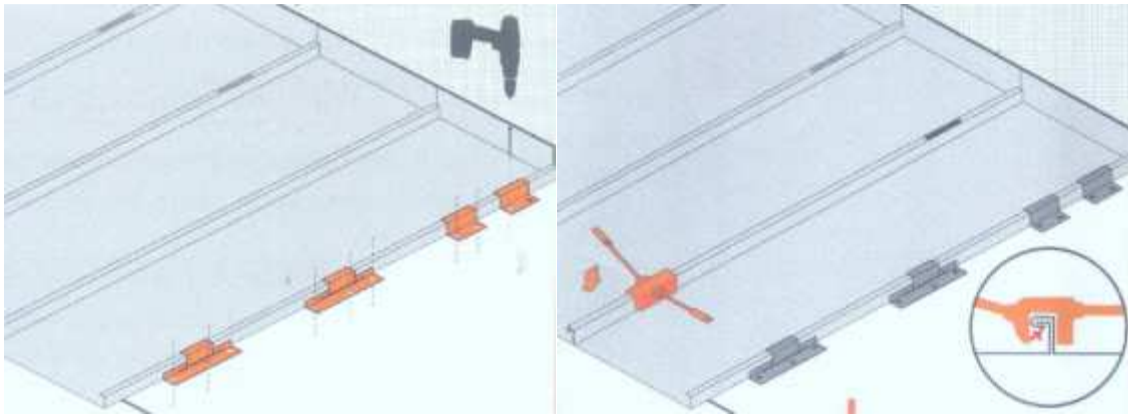


Figura 64 – Colocação de presilhas

- À medida que se colocam as chapas as juntas vão sendo fechadas pontualmente com um alicate manual;
- A chapa seguinte é colocada e o processo repete-se;

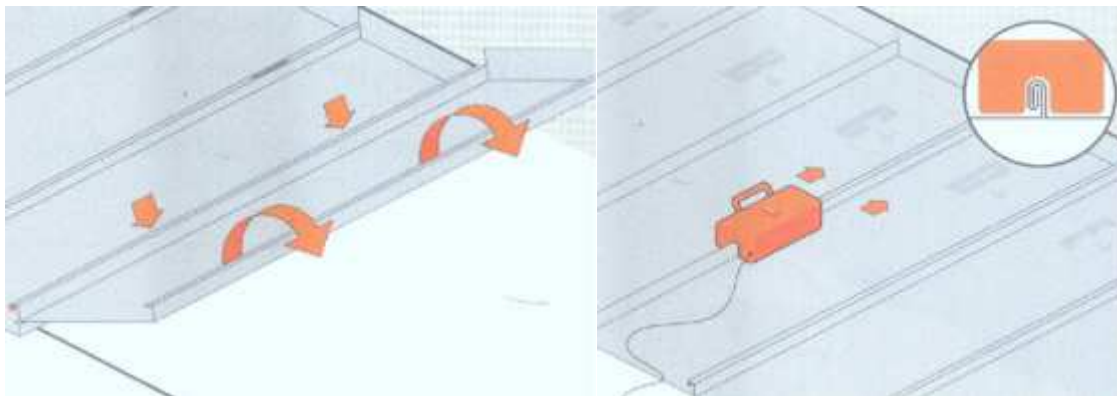


Figura 65 – Sequencia de montagem e fecho da junta

- No final é efetuado o fecho definitivo das juntas, com o recurso a uma máquina (Figura 66) [24] própria para o efeito. O equipamento é dotado de oito rolos com quatro configurações diferentes, estando instalados na máquina pela ordem indicada na Figura 67 [6], cada rolo faz uma fase do fecho da junta.



Figura 66 – Máquina de fechar juntas
[24]

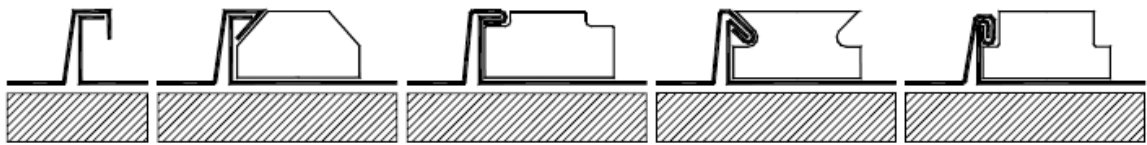
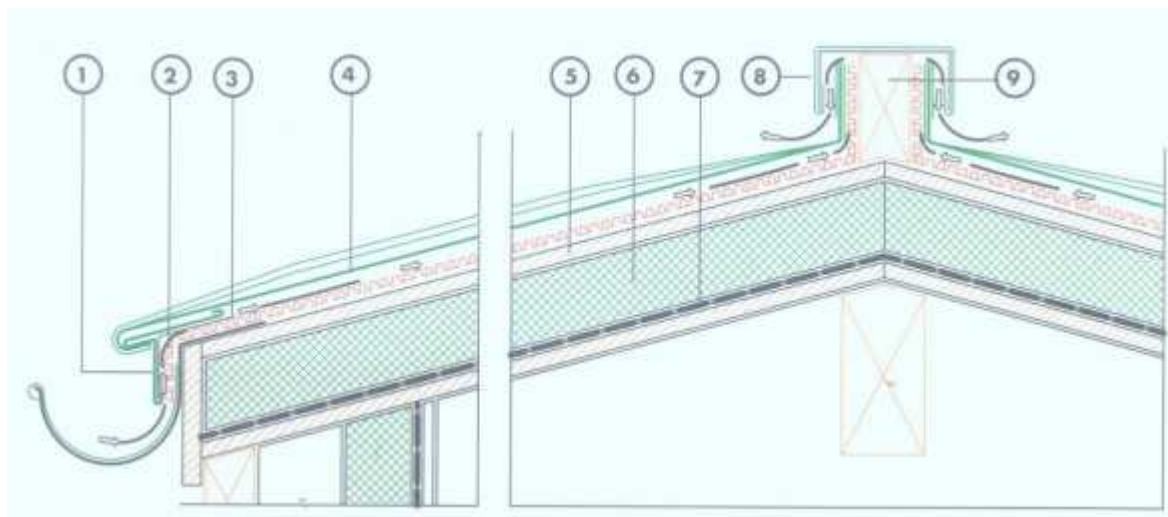


Figura 67 – Sequencia do fecho mecânico das juntas do sistema de Junta Agrafada

Apresenta-se na Figura 69 [31] e seguintes, cortes tipo de coberturas em Junta Agrafada, com as diferentes camadas que constituem o sistema, a base de suporte e pormenores construtivos.

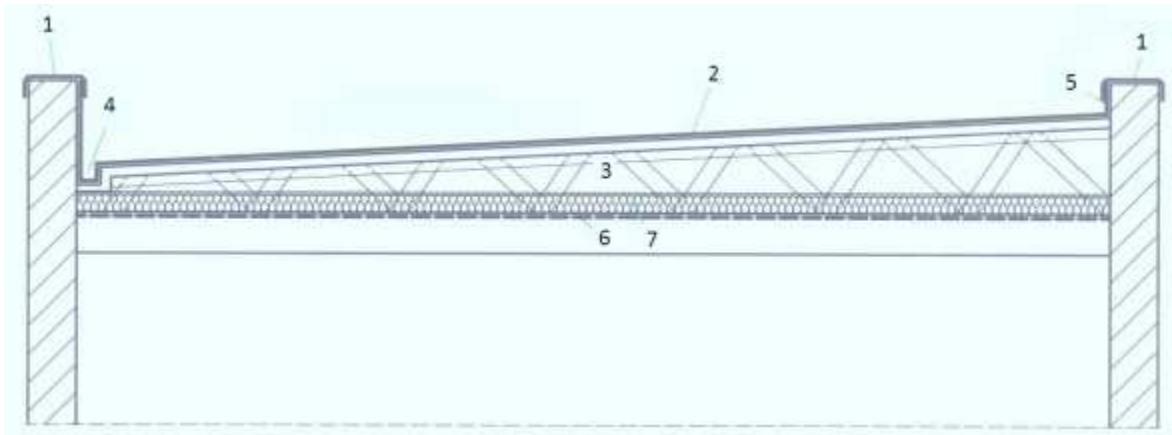


- 1 – Pingadeira de arranque
- 2 – Filme de PEAD que permite a passagem de ar
- 3 – Presilha de fixação da pingadeira de arranque
- 4 – Sistema de cobertura em Junta Agrafada
- 5 – Suporte em madeira
- 6 – Isolamento térmico XPS
- 7 – Barreira pára vapor
- 8 – Peça de cumeeira
- 9 – Ripa de madeira

Figura 68 – Corte tipo do sistema Junta Agrafada com caleira de beiral

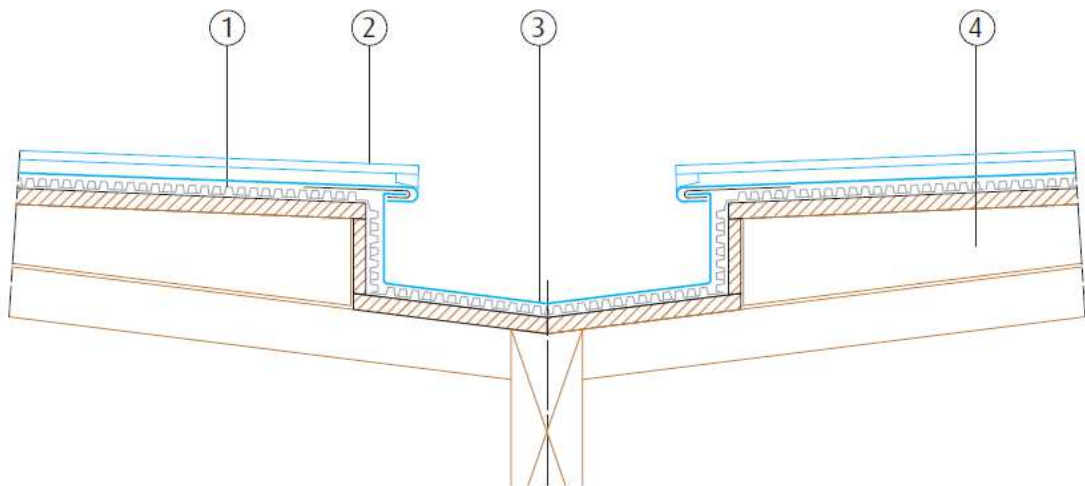
Todo o tipo de elementos salientes da cobertura, tais como, chaminés, respiros de ventilação e claraboias, são possíveis de revestir e vedar com este sistema de cobertura.

Os remates e acabamento junto da periferia com platibandas ou paredes de construções vizinhas, são executados no mesmo material permitindo assim uma solução global totalmente estanque.



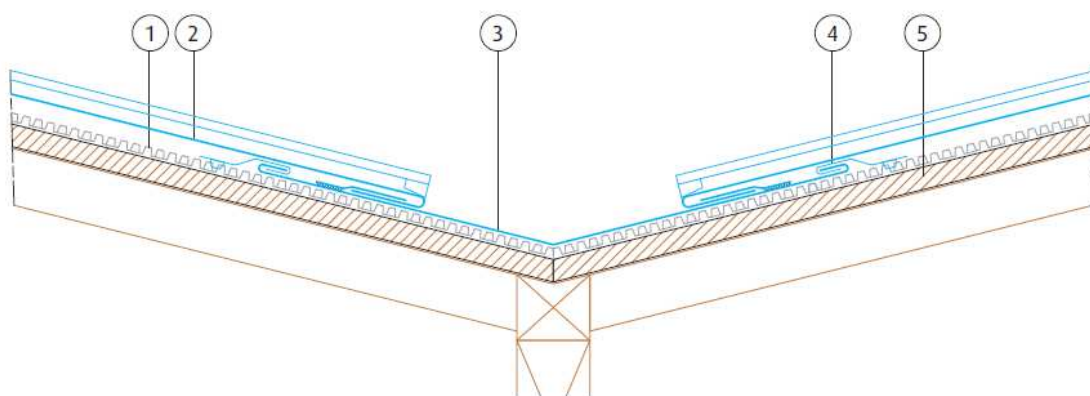
- 1 – Capeamento de platibanda
- 2 – Sistema de cobertura em Junta Agrafada
- 3 – Estrutura de apoio em madeira
- 4 – Algeroz
- 5 – Revestimento interior de platibanda
- 6 – Isolamento térmico XPS
- 7 – Barreira para vapor

Figura 69 – Corte tipo com algeroz e revestimento de platibanda
[41]



- 1 – Filme PEAD
- 2 – Cobertura em Junta Agrafada
- 3 – Algeroz
- 4 – Estrutura de apoio

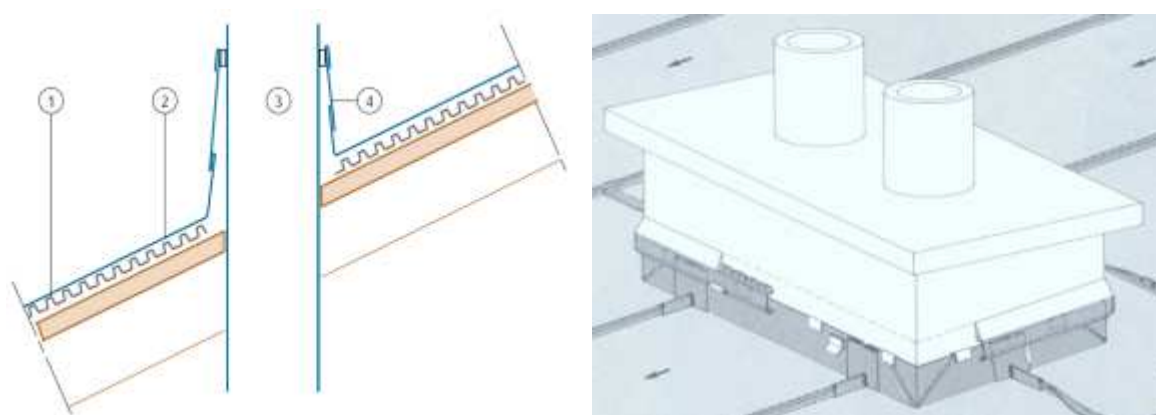
Figura 70 – Pormenor de algeroz
[37]



- 1 – Filme PEAD
- 2 – Cobertura em Junta Agrafada
- 3 – Engra
- 4 – Presilha
- 5 – Estrutura de apoio

Figura 71 – Pormenor de guieiro

[37]



- 1 – Filme PEAD
- 2 – Cobertura em Junta Agrafada
- 3 – Tubagem
- 4 – Rufo de vedação

Figura 72 – Remate entre cobertura e chaminé

[37] [15]

O revestimento do topo superior de platibandas, guarda fogos, cornijas, juntas entre edifícios ou de dilatação são uma parte importante de trabalhos que se executam em zinco

e cobre. É muito comum encontrar este tipo de trabalho executado de forma negligente, sem respeitar comprimentos máximos, sem juntas de dilatação e com fixações aplicadas diretamente sobre o material.

Em relação aos comprimentos estes estão condicionados pelo desenvolvimento dos elementos. Pode-se verificar no Quadro 13 e na Figura 73 [16] a relação entre desenvolvimento (largura total incluindo dobras) e o comprimento máximo dos elementos.

Desenvolvimento dos elementos (m)	Comprimento máximo (m)
< 0,50 m	12,00 m
> 0,50 m	9,00 m

Quadro 13 – Relação entre desenvolvimento/comprimento de elementos

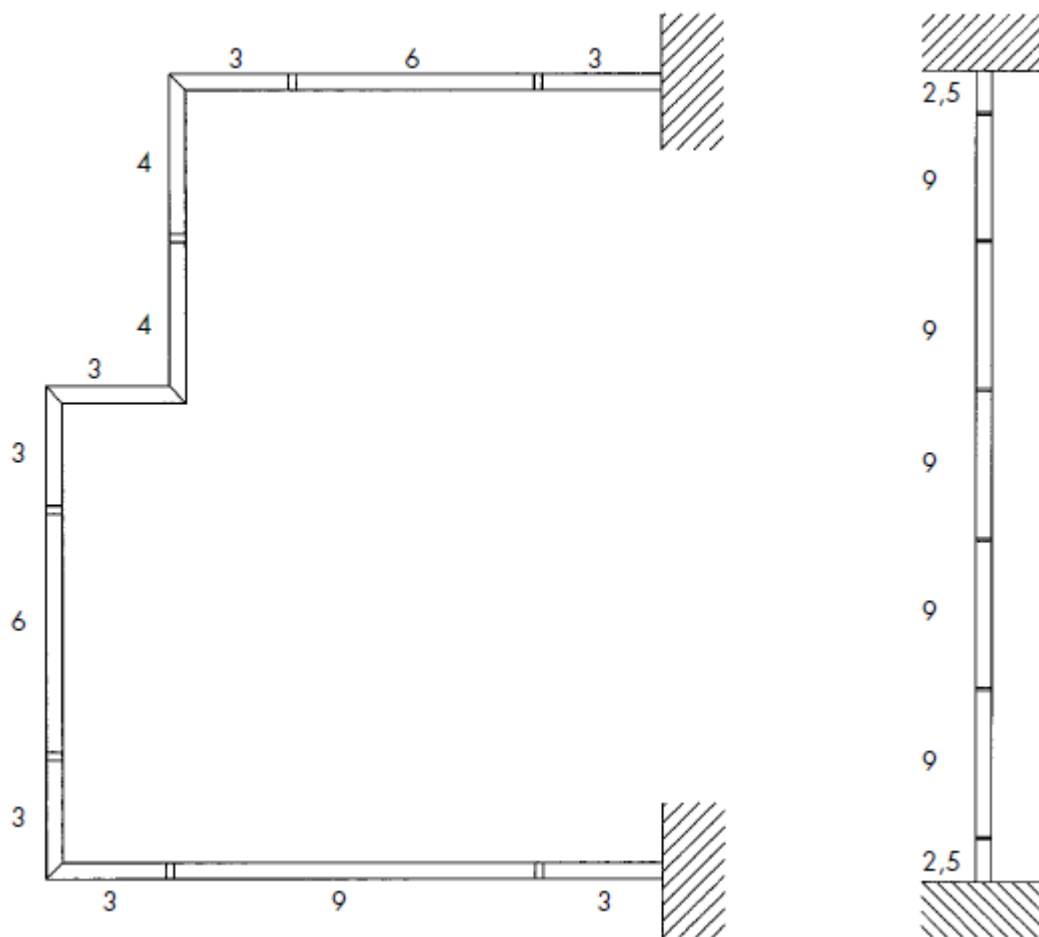
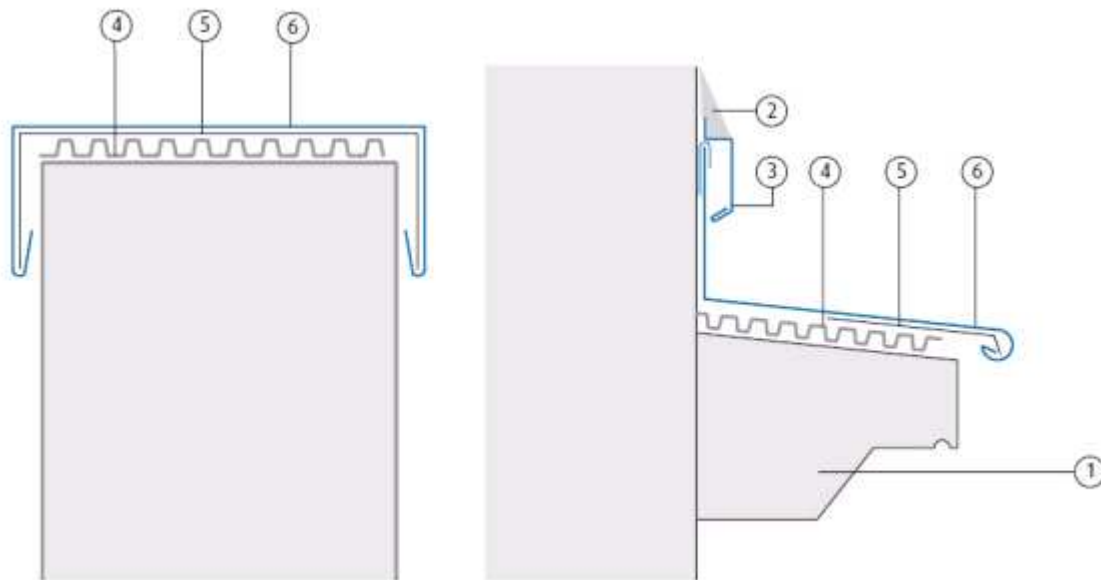


Figura 73 – Exemplo de preparação de comprimentos de elementos de capeamento de platibanda

A juntas são executadas de forma a que os leentos se possam efectura os movimentos de dilatação/contração sem estarem presos e sem danificar as soldaduras executadas. A ligação dos elementos é efectuada por uma peça que abraça as duas extremidades fazendo a devida impermeabilização. A soldadura está limitada às zonas de mudanças de direção, inflexões ou alterações de pendente.

A fixação deve ser executada por presilhas em aço inox, fixas à estrutura e que permitem “correr” o elemento de zinco ou cobre sem prender os seus movimentos como se verifica na Figura 74 [37].



- 1 – Cornija
- 2 – Selagem de rufo com argamassa
- 3 – Rufo
- 4 – Filme PEAD
- 5 – Presilha em aço inox
- 6 – Rufo

Figura 74 – Revestimento de capeamentos e de cornijas

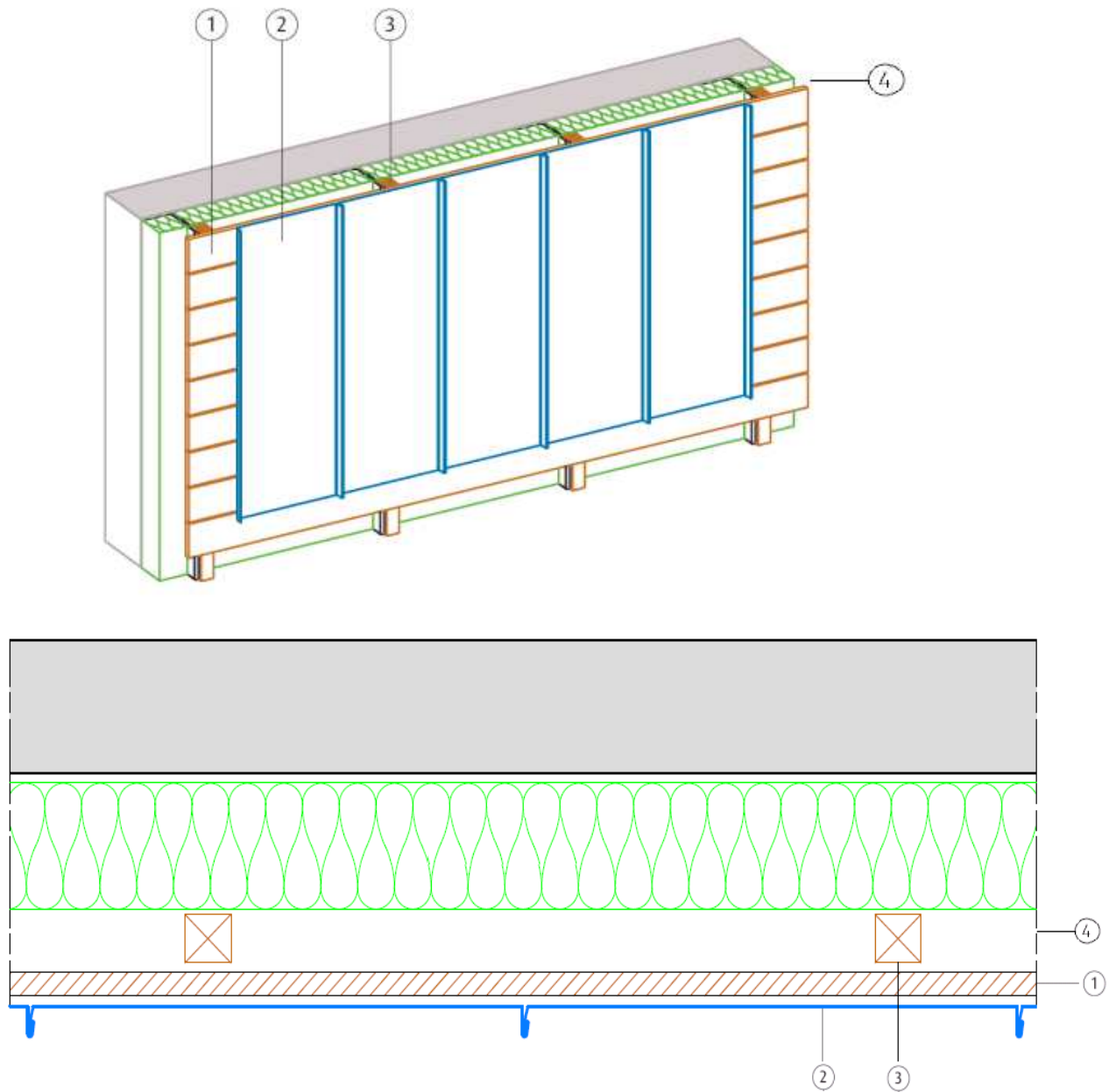
5.2 - Sistema em fachadas

O revestimento de fachadas em zinco ou cobre é na atualidade de utilização corrente, fruto de uma oferta de produtos de fácil montagem e de grande versatilidade. Existem sistemas compostos por painéis pré-fabricados em zinco ou cobre preparados para montagem sobre estrutura secundária em perfis metálicos ou ripado de madeira. Estas soluções procuram proporcionar uma opção sobre outros como por exemplo o alumínio. No entanto o revestimento de fachadas com estes produtos em zinco e em cobre não ainda significativo em Portugal. O sistema Junta Agrafada, é uma das formas a que se recorre frequentemente para a envolvente exterior de edifícios. Em fachadas existem alguns pontos que diferem das coberturas, embora tecnicamente o sistema seja o mesmo. As precauções a ter em conta são as seguintes [33]:

- As larguras das chapas não devem ultrapassar os 0,50 m;
- O comprimento das chapas não deve ultrapassar os 6,00 m, quando a orientação das juntas é na horizontal;
- O comprimento das chapas não deve ultrapassar os 4,00 m, quando a orientação das juntas é na vertical;
- A espessura do zinco ou do cobre deve ser no mínimo de 0,80 mm.

À semelhança do que se referiu para as coberturas, as fachadas também devem ser dotadas de ventilação. A colocação de uma estrutura de apoio em perfis, revestida com madeira em placas ou ripas, é a solução tendo em vista a ventilação necessária. Esta estrutura de suporte devem merecer um dimensionamento cuidado ao nível das fixações à estrutura principal, seja parede de alvenaria ou betão, quantidade de perfis a respetiva secção. O espaço de ventilação deve ter uma espessura mínima de 2 cm. A circulação do ar é permitida dotando a fachada, superior e inferiormente, de aberturas para a passagem do

ar. A relação entre altura de fachada e secção mínima de ventilação são as indicadas no Quadro 14 [33].



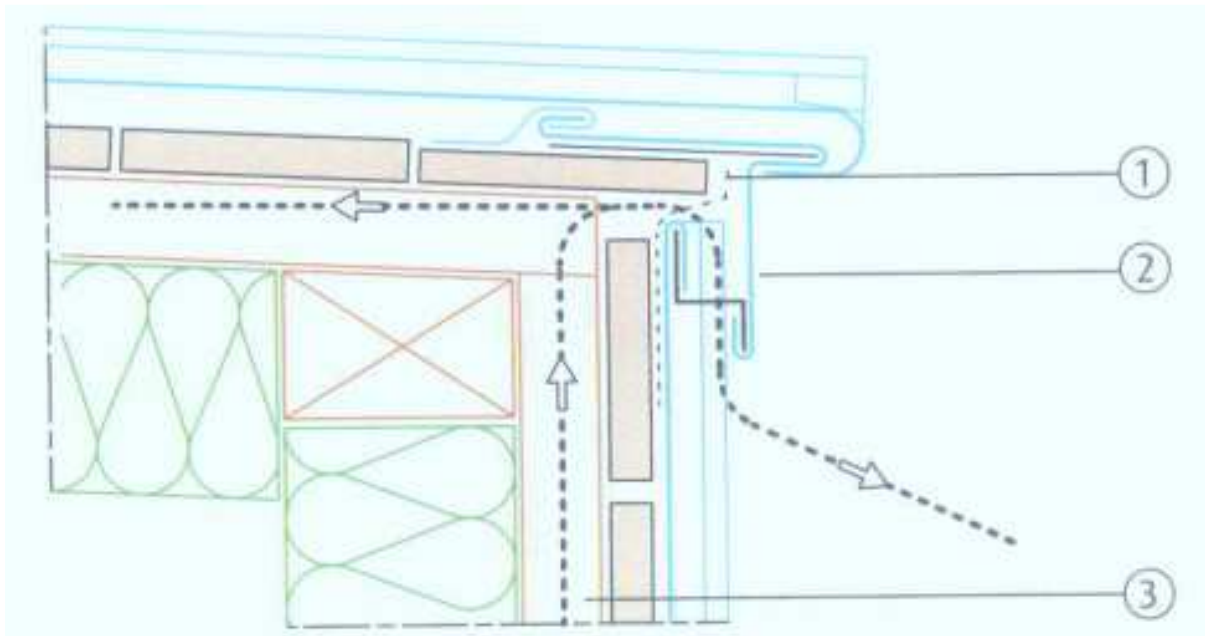
- 1 - Forro em ripado de madeira
- 2 - Revestimento em Junta Agrafada
- 3 - Perfis estruturais de suporte
- 4 - Caixa-de-ar ventilada

Figura 75 – Pormenor tipo de fachada ventilada revestida com sistema de Junta Agrafada com juntas na vertical

[7]

Altura (H) entre aberturas de ventilação	Secção mínima das aberturas de ventilação
$H \leq 3,00$ m	50 cm ² /ml
$3,00$ m < $H \leq 6,00$ m	65 cm ² /ml
$6,00$ m < $H \leq 10,00$ m	80 cm ² /ml
$10,00$ m < $H \leq 18,00$ m	100 cm ² /ml
$18,00$ m < $H \leq 24,00$ m	120 cm ² /ml

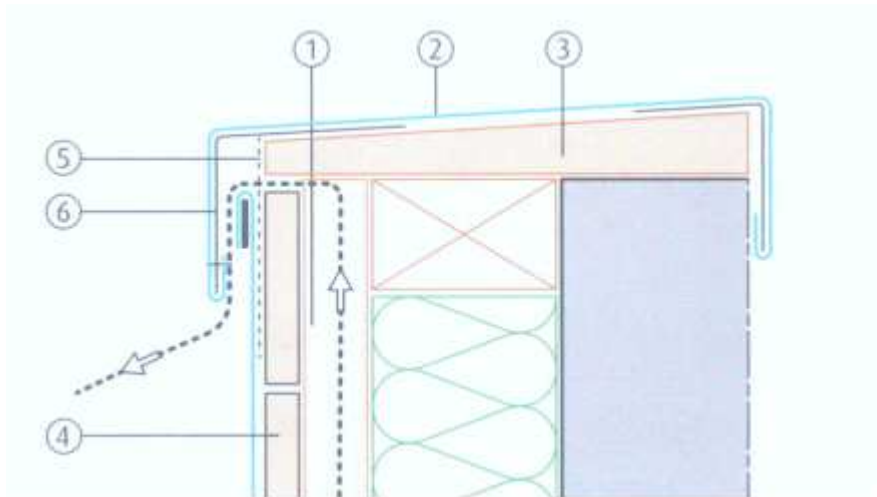
Quadro 14 – Relação entre alturas (H) entre aberturas de ventilação e a sua secção



- 1 – Fluxo de ar no interior do filme PEAD
- 2 – Pingadeira de arranque
- 3 – Fluxo de ar na caixa-de-ar

Figura 76 – Pormenor de transição entre cobertura e fachada

[33]



- 1 – Caixa-de-ar
- 2 – Rufo de capeamento
- 3 – Madeira de apoio ao capeamento
- 4 – Forro em ripado de madeira
- 5 – Fluxo de ar no interior do filme PEAD
- 6 – Presilha de fixação do capeamento

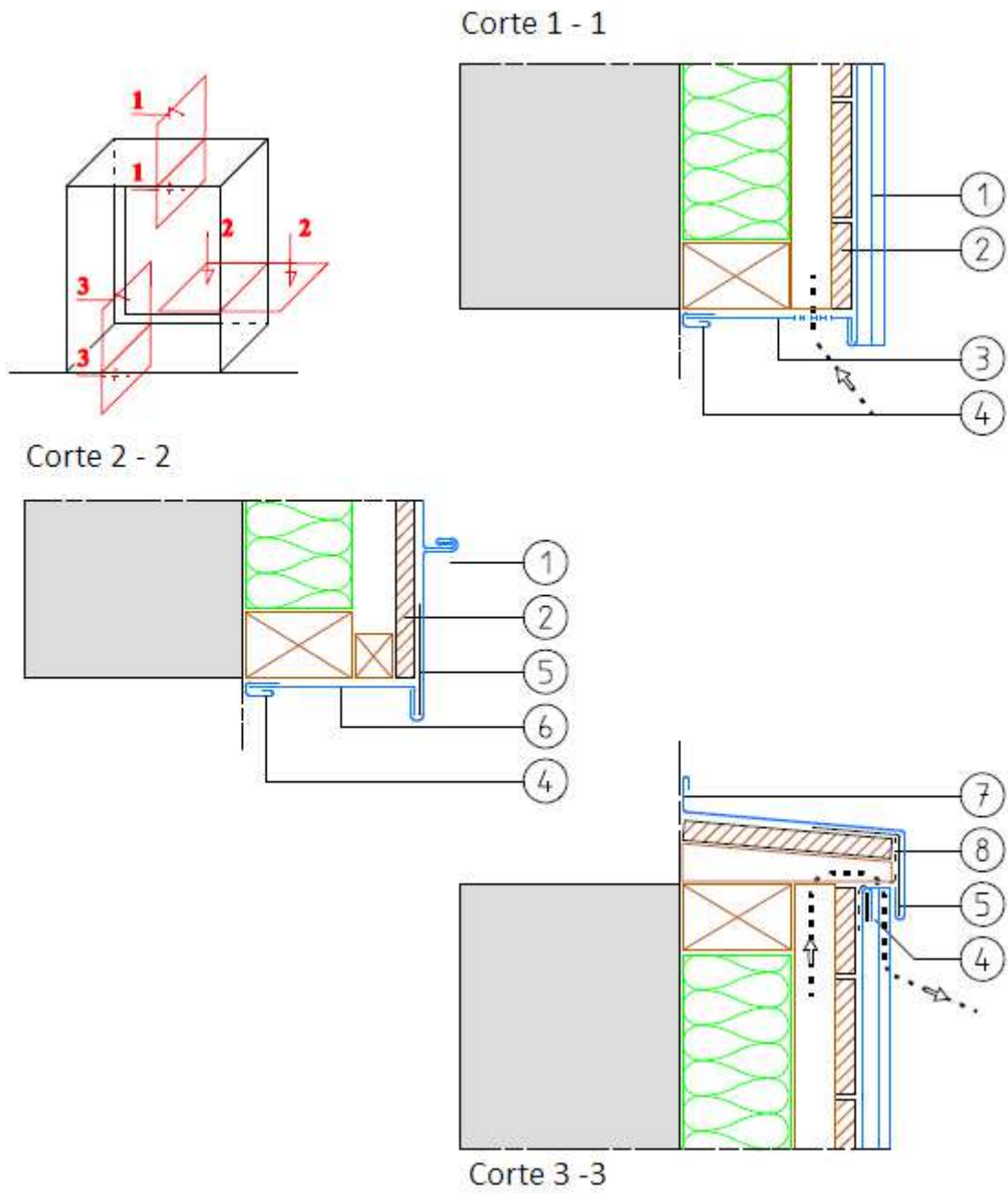
Figura 77 – Remate entre fachada e capeamento de platibanda

[33]



Figura 78 – Parque de feiras e exposições de Montalegre – Fachadas em zinco com sistema de Junta Agrafada

[14]



- 1 – Revestimento em Junta Agrafada
- 2 – Forro em ripado de madeira
- 3 – Rufo de padieira
- 4 – Presilha de fixação
- 5 – Presilha de fixação em aço inox
- 6 – Rufo de ombreira
- 7 – Soleira
- 8 – Fluxo de ar

Figura 79 – Pormenor de remate de vão de janela

A realidade em Portugal também neste ponto é diferente do preconizado nos países do norte da Europa. Em Portugal maioria das aplicações em fachada passa pela montagem do sistema diretamente sobre a parede de alvenaria rebocada ou de betão. Assim sendo a solução correntemente mais utilizada é revestir fachadas constituídas por paredes de alvenaria rebocadas, com isolamento XPS pelo exterior e, o filme de PEAD e, finalmente, o zinco ou o cobre. No entanto com as exigências higrométricas e o aumento da espessura do isolante térmico, há uma maior utilização de estruturas de suporte transformando a envolvente exterior em fachada ventilada.

A preparação dos trabalhos em obra exige uma preparação rigorosa de forma a cautelar a estanquidade junto aos vãos (Figura 79) [7]. Este sistema permite uma variedade de estereotomia com a conjugação de várias dimensões de comprimentos e larguras.

6 – O ZINCO E O COBRE EM OBRAS DE REABILITAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE EDIFÍCIOS

O parque edificado em Portugal, em especial no setor da habitação, é na generalidade envelhecido. Apesar do volume de construção dos últimos 15 anos ter aumentado exponencialmente, principalmente no número de fogos, existe um parque construído que se encontra em grande parte bastante degradado e com graves deficiências a nível de impermeabilização e comportamento térmico. Tem-se verificado no entanto nos últimos anos um aumento significativo de intervenções em edifícios, com fins de recuperação e reabilitação. A necessidade de solucionar problemas de impermeabilização em coberturas e fachadas levou a que os projetistas preconizassem soluções contemplando o uso de zinco e de cobre. O uso destes materiais na reabilitação de edifícios, em coberturas e fachadas, passou a ser corrente e permite soluções ímpares na resolução de problemas. Conjugando este revestimento metálico com isolamento térmico adequado, consegue-se bons resultados no que toca à resolução de problemas de tratamento térmico insuficiente ou até mesmo inexistente, com conseqüente resolução de patologias associadas.

Perante o exposto, as aplicações destes materiais fornecem uma série de soluções na reabilitação de fachadas, coberturas, terraços, tratamento de infiltrações em platibandas e guarda-fogos. Destaca-se:

- Renovação de caleiras, algerozes e tubos de queda;
- Vedações de chaminés, respiros de ventilação e claraboias;
- Tratamento de juntas entre edifícios vizinhos;
- Revestimento de mansardas e trapeiras;
- Recuperação de ornamentos, cimalkas e cornijas;
- Correção de pontes térmicas em conjunto com isolamento respetivo;

- Revestimento da envolvente de zonas novas em edifícios reabilitados e consequente interligação com as zonas pré-existentes.

Possibilidade de impermeabilização e recuperação exterior, com obras relativamente simples e ligeiras, não necessitando de desocupação dos imóveis. Neste tipo de obras, em especial nas ligações, transições e juntas de construção entre zonas de diferentes constituições e idades diversas, têm grande fiabilidade e durabilidade e apresentam-se-lhe muito poucas alternativas válidas.



Figura 80 – Reabilitação do Teatro Circo de Braga – Coberturas e fachadas em zinco com sistema de Junta Agrafada

[14]

Estas situações estão presentes em praticamente todas as edifícios a recuperar no centro das grandes cidades em Portugal. Quem observa as edificações da ribeira do Porto, do Chiado em Lisboa ou o centro histórico de Coimbra, facilmente se apercebe das inúmeras

utilizações que estes materiais permitem em recuperação e reabilitação de coberturas e fachadas. Nunca serão soluções de baixo custo inicial. São porém passíveis de se tornarem económicas tendo em conta a sua grande duração e fiabilidade.

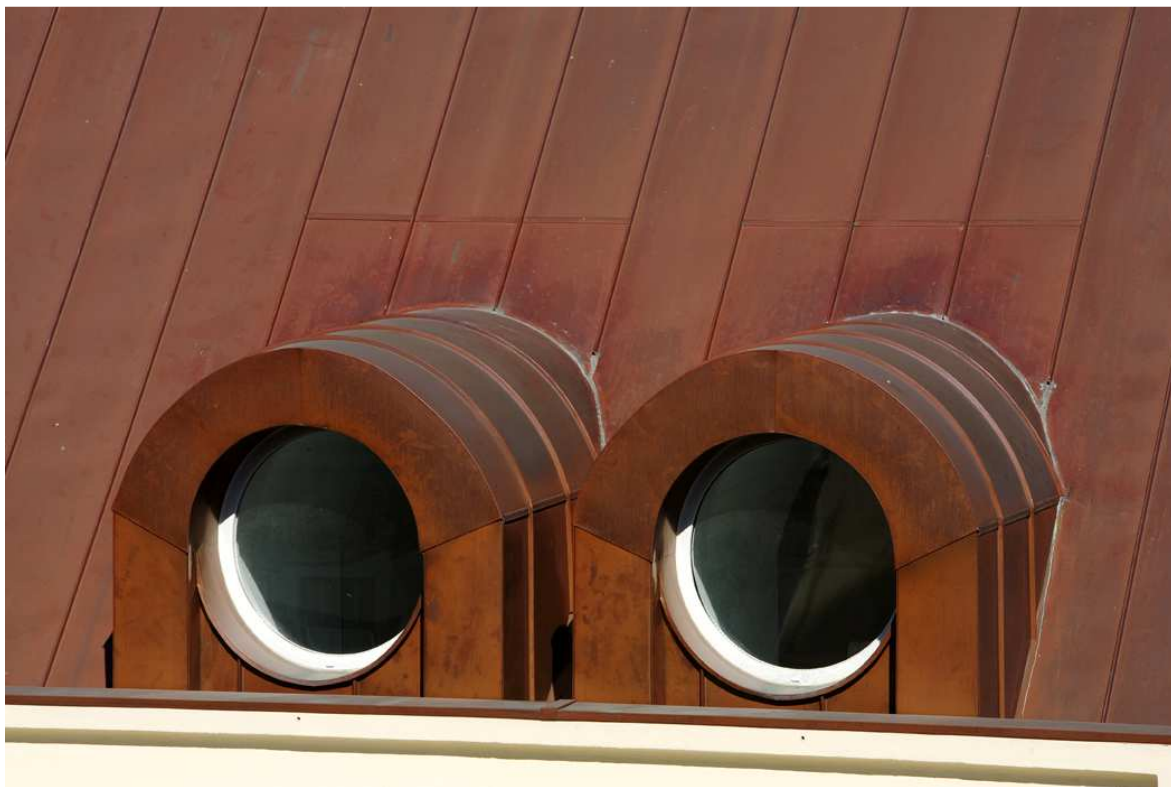


Figura 81 – Sede do Barclays Bank em Lisboa – Cobertura em Cobre

[14]

7 – CUSTO DO REVESTIMENTO EM ZINCO E COBRE

Ao longo deste trabalho foi referido por várias vezes que a utilização de zinco e cobre no revestimento da envolvente exterior de edifícios é hoje uma solução corrente. Pode-se considerar que em termos de coberturas é já uma possibilidade equacionada logo nos primeiros passos do projeto. Os arquitectos e projetistas têm a consciência que prescrevem um material duradouro, fiável e esteticamente agradável. O que ainda acontece, embora com uma menor frequência, é que existe a ideia que são soluções caras. Esta ideia não é infundada. Durante muitos anos utilizar zinco e cobre só estava ao alcance de alguns. A maioria das utilizações estava limitada a obras do estado. Os donos de obra particulares tinham de dispor de verbas consideráveis para adquirir uma cobertura em zinco ou cobre. O valor cobrado por um aplicador por uma cobertura em zinco poderia chegar ao 75,00 €/m² na década de 80 do século XX. O cobre podia facilmente chegar aos 120,00 €/m².

Com o aumento da oferta em termos de mão-de-obra a partir da década de 90 os valores tornaram-se mais baixos. A introdução de novas técnicas, a junta agrafada por exemplo, permitiu rentabilizar meios humanos e baixar os custos de transformação. Nesta altura, final da década de 90 e início do século XXI, as coberturas em zinco começam a apresentar valores a rondar os 50,00 €/m², mantendo a tendência de descida até cerca de 2006 onde se regista um aumento significativo da matéria-prima. Entre 2004 e 2006 uma cobertura em zinco poderia custar 30,00 €/m² e em cobre cerca de 45,00 €/m². O valor por kg de cada um dos metais era de 1,90 €/kg no zinco e 4,50 €/kg no cobre. A abertura do mercado Chinês fez com que os valores do zinco e do cobre laminado aumentassem em flecha. Em poucos meses, no decurso do ano 2006, os valores quase duplicaram. Nos dias de hoje a variação já não é tão acentuada havendo sempre uma margem de variabilidade devido ao valor do dólar face ao euro e vice-versa. Em termos de valores o zinco varia entre os 2,50 a 2,80 €/kg, ou seja, uma cobertura ronda 40,00 a 50,00 €/m². Por sua vez o

cobre varia entre os 7,50 e os 8,50 €/m², podendo uma cobertura fixar-se em valores perto dos 80,00 €/m².

Comparativamente com outras soluções, sejam telas asfálticas ou PVC, telhas cerâmicas ou painéis metálicos, os metais não ferrosos são sempre mais caros. No entanto a sua durabilidade e fiabilidade é um valor a ter em conta, que juntamente com a ausência de necessidade de manutenção, ou seja, pinturas, substituição de elementos, proteção contra corrosão, faz destes materiais uma opção válida para o futuro.

8 - CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como um dos objetivos compilar informação acerca dos princípios básicos da tecnologia de revestimentos em zinco e cobre em coberturas e fachadas. Conclui-se, em relação a esta parte do trabalho, que da pesquisa feita se obteve um conjunto importante de indicações sobre esta tecnologia. Desde as características da matéria-prima, seu fabrico e transformação, às indicações básicas para projeto e colocação em obra. Em relação a aspetos de dimensionamento foram abordados os principais, ou seja, dos acessórios de escoamento de águas pluviais, dos comprimentos de chapas e das fixações num sistema representativo em Portugal. Do estudo feito sai reforçada a ideia, várias vezes mencionada neste trabalho, que a tecnologia de revestimentos em zinco e cobre exige um cuidado extremo na avaliação das condições de apoio, compatibilidade de materiais, pendentos, comprimentos dos elementos e dimensionamento das fixações. Por outro lado sai reforçada a necessidade de contar com pessoal especializado no projeto e na execução de trabalhos deste tipo.

Outro objetivo era o de realçar o papel importante que o zinco e o cobre assumem em obras de recuperação e reabilitação de edifícios. Este tema foi desenvolvido realçando-se as principais vantagens e perspectivas de futuro no uso destes dois metais como revestimento da envolvente exterior e em trabalhos de impermeabilização.

No que se refere ao estudo sobre custos, conclui-se que atualmente os valores de mercado praticados em nada a tem a ver com os que durante largos anos foram praticados. Com os dados disponibilizados, pode-se partir para uma comparação de valores com outras soluções de cobertura e fachada, sendo que o sistema abordado tem um custo de manutenção praticamente nulo.

9 – PERSPETIVAS DE FUTURO

A utilização de metais não ferrosos na construção está perfeitamente dentro daquilo que se espera de um edifício de qualidade – simplicidade de aplicação, grande durabilidade, aspeto estético, agregando modernidade com tradição. Uma das características mais apreciadas no zinco e no cobre é o seu valor ecológico em termos de reciclagem. São materiais totalmente recicláveis em todo o seu percurso, ou seja, na fase de fabrico, no corte e transformação em elementos para a obra e todas as sobras de material proveniente da colocação.

Ao longo deste trabalho foi realçado por diversas vezes a ausência de informação em Portugal sobre a tecnologia dos revestimentos em zinco e cobre. Existem vários temas com possibilidade de estudo a desenvolver. Uma das necessidades é criar um documento de homologação que indique os aspetos físicos e mecânicos dos materiais, princípios do fabrico e aplicação em obra, dimensionamento de fixações e estruturas de suporte e influencia no comportamento higrotérmico das envolventes. Seria uma mais valia pois proporcionaria a todos os intervenientes em obra, incluído projetistas, uma ferramenta de trabalho útil para prevenir erros na execução deste tipo de trabalho.

Pode-se esperar que o aumento das obras de reabilitação de edifícios em Portugal se traduza por perspetivas de futuro boas, mas sempre dependentes da concorrência em termos de custos. Nunca serão soluções de baixo custo inicial. São porém passíveis de se tornarem económicas tendo em conta a sua grande duração e fiabilidade. Note-se que é sabido que a maioria das patologias de construção estão relacionadas com a humidade e para sua resolução estas soluções têm enormes possibilidades. Porém para apresentarem todas as suas potencialidades, têm que ser executadas por pessoal especializado e segundo estudo e técnicas adequadas.

10 - ANEXOS

Liga de Zn-0.8Cu-0.15Ti

Tabela 5 – Características e propriedades da liga de Zn-0.8Cu-0.15Ti [1]

Especificações	ASTM B69 / UNS Z41320		
Composição química	0.50-1.50 Cu; 0.12-0.50 Ti; 0.10 máx Pb; 0.012 máx Fe; 0.05 máx Cd; 0.001 máx Al; 0.01 máx Sn; restante Zn		
Consequências de exceder os limites de impurezas	Fe e Cd aumentam a dureza e diminuem a ductilidade. A liga torna-se frágil a altas temperaturas, sujeita à corrosão intergranular		
Aplicações típicas	coberturas onduladas para telhados, calhas, goteiras, produtos que requerem máxima resistência à fluência		
Precauções no uso	Resistência à fluência diminui com o aumento da temperatura de utilização. Deve ser tratada termicamente após trabalhada a frio para obter máxima resistência à fluência		
Propriedades Mecânicas	Tensão	laminado a quente	
		laminado a frio	
	Dureza	a quente	
		a frio	
Tensão Corte		138 a 152 MPa	
Densidade			7,17 g/cm ³ a 21°C
Propriedades Térmicas	Temperatura Liquidus		422°C
	Temperatura Solidus		419°C
	Coefficiente expansão térmica		24 µm/m.K
Propriedades Químicas	Comportamento à corrosão		Esta liga possui excelente resistência à corrosão atmosférica
Características de fabrico	Temperatura recozimento		Elevada resistência à fluência pode ser restaurada após trabalho a frio através de recozimento de 45 min. a 250°C
	Temperatura trabalho a quente		150°C a 300°C. A fragilidade a quente ocorre entre 300°C e 420°C

Anexo 2 – Composição da liga de cobre

CERTIFIED MATERIAL TEST REPORT

Certificate Nr	: 194355	Ddt	: FB / 14227
Customer	: KME LOCSA		
Customer Ref.	: ROOFING RdA062816		
Order Nr	: 589361/7	Item	: 0041495
Material Desc.	: Coils		
Dimensions	: X 670 MM X 0,600 MM	Alloy	: Cu-DHP CW024A
Part Nr	:		

Marking Nr	Weight	Analisi/O.F.	Sample	Marking Nr	Weight	Analisi/O.F.	Sample
FK489451	1008	1B4306/AB	11253468	FK489452	1002	1B4306/AB	11253468
FK489458	1006	1B4306/AB	11253468	FK489459	1006	1B4306/AB	11253468
FK489462	1008	1B4306/AB	11253468	FK489468	818	1B4306/AB	11253468

EN 1652 CW024A

Composition(%)	Cu+Ag	P					
Min	99.9000	0.0150					
Max		0.0400					
1B4306/AB	99.9628	0.0274					

EN 1172 R240

Test	Tensile Strength Rm N/mm ² ?	Yield Strength Rp N/mm ² ?	Elongation 50 mm %				
Min	240	180	8				
Max	300						
11253468 Start	284	210	26				
End	286	215	26				

EN 1172

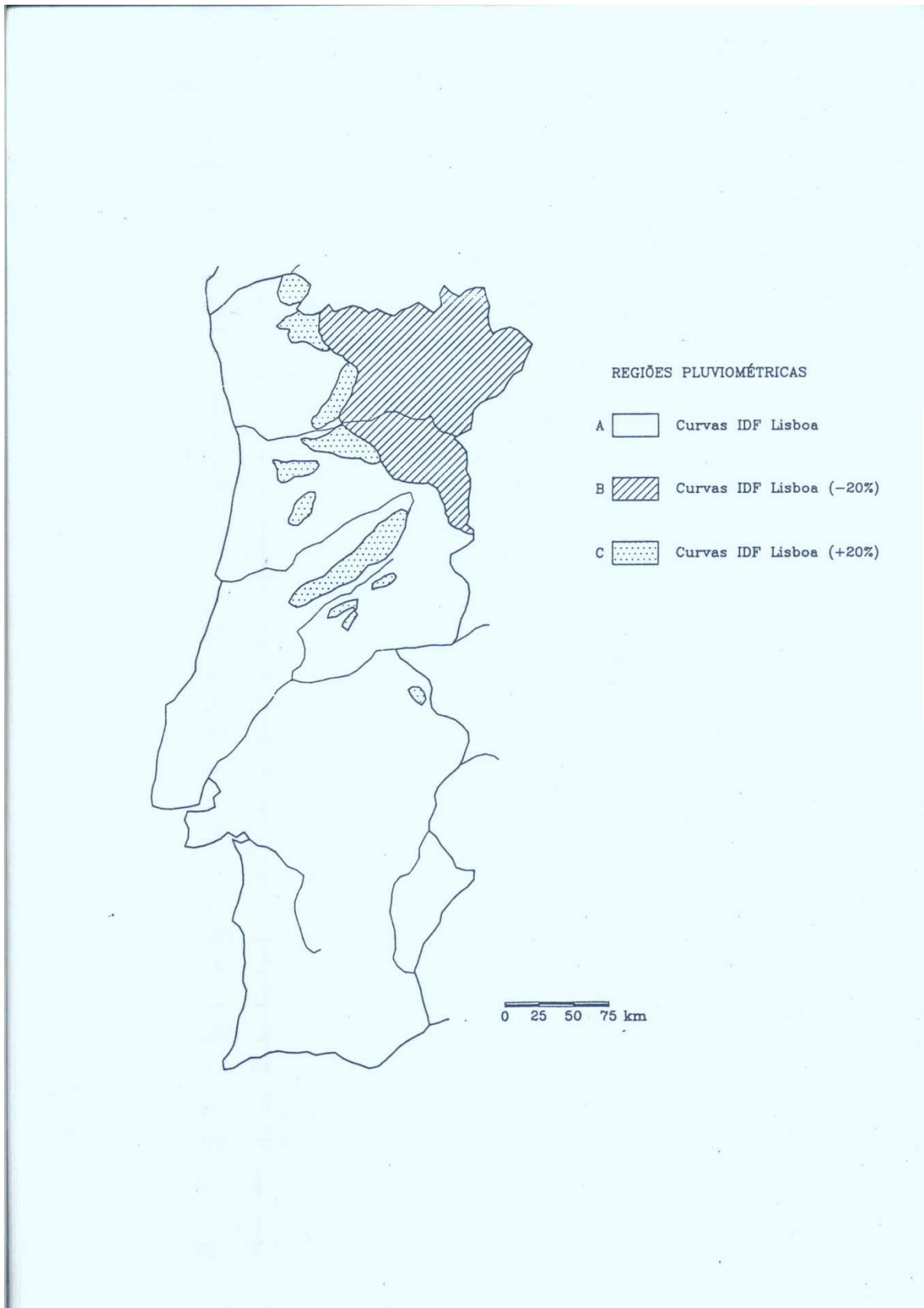
Test	Thickness mm						
Min	0.600						
Max	0.620						
11253468 Start	0.600						
End	0.600						

Fornaci di Barga 19/10/2011

Company with the quality management system certified by IGQ according to ISO 9001-2008
This supply is in compliance to the requirements reported in your Order/Technical Specification.

Document complying to EN 10204 3.1. Standard, issued under computerized control.
Signature not required. The QA chief: I. Sabbatini

Anexo 3 – Curvas de Intensidade – Duração – Frequência aplicáveis a Portugal Continental

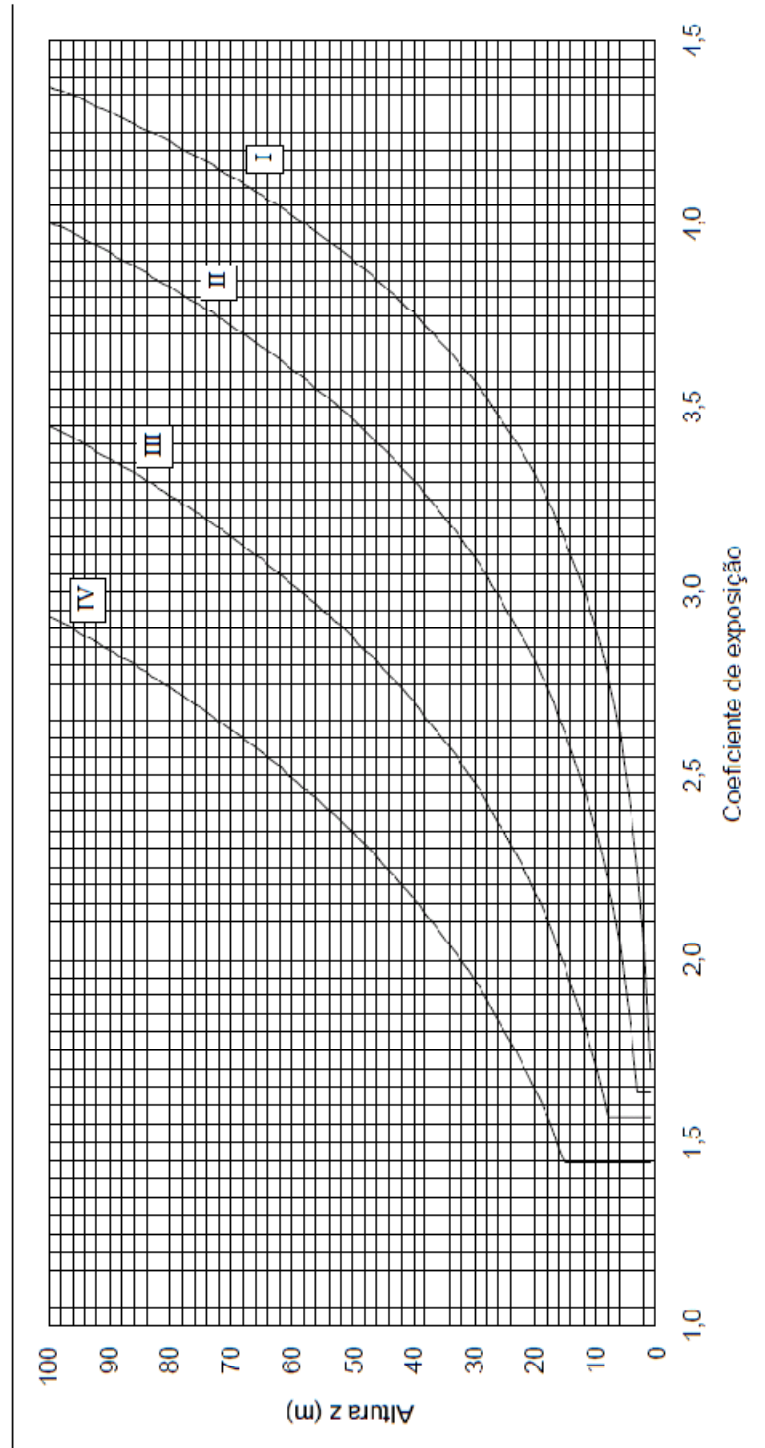


Anexo 4 – Categorias de terreno e respetivos parâmetros

Quadro NA-4.1 – Categorias de terreno e respetivos parâmetros

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

Anexo 5 – Coeficiente de exposição



11 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Be Curioso, 2011, Instituto Europeo del Cobre, Bélgica, 15 pp.
2. Borges M., Processos produtivos em engenharia de produção – Conformação, In: mmborges.com/processos/Conformacao/cont_html/laminacao.htm (consultado em 28 de Novembro de 2011).
3. Brion R. e Moreau J. L., 2005, Umicore materials for a better life, Duzentos anos de empreendedorismo e inovação em metais e materiais, Umicore, 11 pp.
4. Chapman S., 2006, Cubiertas de cobre en detalle, European copper in architecture campaign, Cedec – Centro espanhol de informacion del cobre, pp. 1-15.
5. Construtora San Jose, Faculdade de Arquitetura da universidade do Porto, 1992, Edição limitada, Companhia editora do Minho, S.A., 26 pp.
6. DIT Plus, Documento de idoneidad técnica plus, 2009, DIT 520-p/09, Sistema de revestimento de cubiertas VMZ Delta, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Espanha.
7. Documentacion VMZInc, VMZInc la passion du zinc, In: www.vmpzinc.fr
8. DTU P 50-704, 2007, Règles TH-G (Avril 1991): Règles de calcul du coefficient GV des bâtiments d’habitation et du coefficient G1 des bâtiments autres que d’habitation, CD-DTU V2 Edition 150, CSTB, pp. 13-14.
9. Dutra M R, 2010, Caracterização de revestimentos em fachadas ventiladas. Análise do comportamento, Instituto Superior Técnico, Lisboa, (Dissertação de Mestrado).
10. El cobre a lo largo de la historia, El cobre crea hogar, In: www.el-cobre-crea-hogar.es/es/cobre/historia.aspx (consultado em 15 de Novembro de 2011)
11. Freitas V. e Silva Pinto P., 1998, Permeabilidade ao vapor de materiais de construção – condensações internas, NIT 002 – LFC 1998, pp. 14-16.

12. History of Zinc, 2011, International Zinc Association, In: www.zinc.org/basics/history_of_zinc (consultado em 15 de Novembro de 2011)
13. KME project collection, Harbour control tower, Lisbon, P, KME, In: <http://www.kme.com/project/kmefolder/prj/34/1.html> (consultado em 5 de Outubro de 2012).
14. Kozlowski P., Fotografia, Umicore France
15. Le centre du zinc, 1989, Memento du couvreur zingueur, Centre du zinc, França, 3ª edição.
16. Manual del instalador de cubiertas, fachada y canalones de zinc, datos técnicos tablas, 2005, Rheinzink, Espanha.
17. Mercado, datos de mercado, Centro Espanol de Informacion del Cobre, In: www.infocobre.org.es/mercado-cobre.html (consultado em 30 de Abril de 2012).
18. Myers J. J., Fotos de Jared J. Myers, Panoramio, www.panoramio.com/photo/29419859 (consultado em 10 de Abril de 2012)
19. NP EN 1991-1-4, 2010, Eurocódigo 1 – Ações em estruturas, Parte 1-4: Ações gerais – ações do vento, Março de 2010, Instituto Português da Qualidade, 162 pp;
20. Os metais – Os materiais e os selos, Ciencia Viva, In: oficina.cienciaviva.pt/~pv0592/Dony_Zn-BEL-Stamp.jpg (consultado em 15 de Outubro de 2012).
21. Palácio Nacional da Pena, Sapo.pt, <http://saber.sapo.pt/wiki/Imagem:Pena2-medio.JPG> (consultado em 15 de Outubro de 2012).
22. Pavilhão Atlantico, Regino Cruz Arquitectos, In: http://www.reginocruz.com/pt-pt/#/projects/pavilhao_atlantico (consultado em 10 de Outubro de 2012).

- 23.Products and markets, Copper, KME, In: www.kme.com/assets/uploads/files/datasheet/ri/mds_kme_165_cu-dhp_english.pdf (consultado em 9 de Novembro de 2011).
- 24.Products, Schleich, In: www.schleich.de/en/de_frameset.html (consultado em 18 de Maio de 2012).
- 25.Produtos do zinco, Instituto de metais não ferrosos, In: www.icz.org.br/zinco-produtos.php (consultado em 27 de Novembro de 2011)
- 26.Ramos V., 2011, Optimização do processo de produção de bobines laminadas de uma liga ZnCuTi, Faculdade de Engenharia do Porto, Porto, 12 pp (Dissertação de Mestrado)
- 27.RCCTE, Regulamento das características de comportamento térmico de edifícios, Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril
- 28.Reabilitação energética da envolvente de edifícios residências, DGGE/ IP-3E, 2004
- 29.RGSPPDADAR, Regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais, Decreto-Lei nº 207/94 de 6 de Agosto e o Decreto Regulamentar nº 23/95 de 23 de Agosto;
- 30.Segrelles V, 1984, Armas que revolucionaram o mundo 1, Livraria Editora Civilização, 11 pp.
- 31.Sigma – VM 97038 – 05 – 11.97, 1997, Vieille Montagne Zinc, Guide de recommandations en Europe, França.
- 32.Vindeirinho Rino E. J., 2011, Sistemas prediais de drenagem de águas pluviais e freáticas, Instituto Superior Técnico, Lisboa. (Dissertação de Mestrado)
- 33.VM Zinc 04081 0505 FR 1, 2005, Mémento du couvreur zingueur, Umicore France, França.
- 34.VM Zinc 06/09 09005 FR3, 2009, VM Zinc – Principes de base, Umicore France, França.

- 35.VM Zinc 06/09 09009 FR2, 2009, Pattes monovis - Système de fixation pour les couvertures ventilées en VMZ Joint debout, Umicore France, França.
- 36.VM Zinc 06/09 09017, 2009, Delta VM ZINC - Système avec l'interposition d'une nappe polyéthylène à excroissances et fixations exclusives pour supports non compatibles, Umicore France, França, 2 pp.
- 37.VM Zinc 06/09 09018 FR3, 2009, Delta VM ZINC - Système avec l'interposition d'une nappe polyéthylène à excroissances et fixations exclusives pour supports non compatibles, Umicore France, França.
- 38.VM Zinc 06/09 09032 FR3, 2009, Joint debout - Technique de mise en oeuvre du zinc avec joints pliés et sertis, Umicore France, França, 2 pp.
- 39.VM Zinc 10/10 09007 FR4, 2010, VM Zinc joint debout – couverture froide ventilée en zinc, Umicore France, França, 8 pp.
- 40.VM Zinc 11/11 11 1 1010 FR2, 2010, Evacuation des euaux pluviales, Umicore France, França.
- 41.VMUK 00003 – 0 – juni 2007, 2007, VM Zinc: Standing seam, guidelines for specification and installation, Umicore Marketing Services U.K., Grã-Bretanha, 82 pp.
- 42.Zinc uses, International Zinc Associaton, In: www.zinc.org/basics/zinc_uses (consultado em 28 de Novembro de 2011)
- 43.Zinco – Zn, MSPC – Informações Técnicas, In: www.mspc.eng.br/quim1/quim1_030.asp (consultado em 28 de Novembro de 2011)