



UNIVERSIDADE DO PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA
Departamento de Engenharia Civil

**REABILITAÇÃO TÉRMICA DE COBERTURAS DE
EDIFÍCIOS ANTIGOS**
Avaliação de soluções do ponto de vista técnico-económico

Por:

Ana Cláudia Pinto de Bettencourt Gesta dos Santos

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para
obtenção do grau de Mestre em Reabilitação do Património Edificado

Orientadora | Prof. Dr.^a Maria Helena Póvoas Corvacho

Porto | Julho de 2009

Ao meu filho Diogo

AGRADECIMENTOS

Ao concluir a dissertação que aqui submeto a apreciação, não posso deixar de prestar a minha reverência às pessoas que, sob as mais variadas formas, possibilitaram a sua realização:

Desde logo, à Professora Helena Corvacho, um sincero agradecimento pela sua constante motivação, simpatia e disponibilidade na orientação do trabalho, apesar dos percalços da vida que ocorreram durante estes dois últimos anos.

À amiga e colega de mestrado Eng. Ana Guimarães, um especial reconhecimento por se mostrar sempre solícita para ajudar e pelo encorajamento ao longo desta caminhada.

Ao Eng. Eduardo Costa, um muito obrigada especial pela conversa encorajadora que resultou na decisão de avançar com a dissertação.

À *Urbatelier*, na pessoa do Arq. João Campos, um agradecimento pela cedência dos elementos gráficos que estiveram na base do desenvolvimento do trabalho, e um especial destaque para o desenhador Jaime Campos, pela excepcional qualidade dos seus levantamentos arquitectónicos e pelo apoio técnico.

A todas as empresas com que tive de contactar, um agradecimento pelas informações e apoio prestados.

Aos amigos Cláudio Franco e Francisco Machado, um grande abraço de amizade pelos seus “pequenos” contributos que me permitiram chegar a bom porto nesta viagem.

E finalmente, ao Pedro, aos meus pais e à minha irmã, um grande bem-haja pelo incondicional incentivo e apoio sempre manifestados, especialmente nos momentos mais críticos da vida.

REABILITAÇÃO TÉRMICA DE COBERTURAS DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

Avaliação de soluções do ponto de vista técnico-económico

RESUMO

Os princípios da sustentabilidade e do valor patrimonial são, actualmente, conceitos indissociáveis e basilares na definição dos princípios de regeneração urbana para os centros históricos e que se reflectem em três factores-chave: a sustentabilidade ambiental, a sustentabilidade económica e a sustentabilidade social.

Com a presente dissertação, pretende-se dar um contributo nesta área através de um estudo de avaliação técnico-económica de diferentes soluções para a reabilitação da cobertura de edifícios antigos de construção tradicional, com vista à melhoria do seu comportamento térmico.

A metodologia adoptada para a caracterização técnica e económica da intervenção de reabilitação térmica foi a preconizada pela regulamentação em vigor tendo em vista uma quantificação precisa e legalmente enquadrada das necessidades energéticas para aquecimento.

Por um lado, o estudo técnico reúne e caracteriza as principais soluções de reabilitação térmica de uso corrente em Portugal avaliando os prós e contras, tendo subjacente uma interpretação da documentação técnica disponível.

Por outro, o estudo económico, focado em três casos de estudo, tem como principal objectivo definir a solução adequada a empregar em função de alguns factores, nomeadamente do custo global da intervenção, da poupança energética conseguida, do período de retorno do investimento inicial efectuado e das perdas térmicas.

Palavras-chave | Coberturas, Reabilitação térmica, Avaliação técnico-económica, Sustentabilidade.

THERMAL REFURBISHMENT OF ROOFS IN OLD BUILDINGS

Assessment of solutions from a technical and economic standpoint

ABSTRACT

In current times, the principles of sustainability and of heritage value are basic inseparable concepts in the definition of the principles of urban regeneration for historical centres which are reflected in three key factors: environmental sustainability, economic sustainability and social sustainability.

The aim of this dissertation is to contribute to the body of knowledge in this area through a study of technical and economic assessment of different solutions for the refurbishment of roofs in old buildings of traditional styles, with the aim of improving thermal performance.

The methodology adopted for the technical and economic characterisation of the thermal refurbishment intervention was that defined by current legislation, thus aiming at a precise and legally framed quantification of the energy needs for heating.

On the one hand, the technical study collates and characterises the main thermal refurbishment solutions currently in use in Portugal, assessing their pros and cons, taking into account an interpretation of available technical documentation.

On the other hand, the economic study, focussed in three case studies, has the main objective of defining the most adequate solution taking into account specific factors, namely overall cost of intervention, energy savings achieved, pay-back period of the initial investment and thermal losses.

Keywords | Roofs, Thermal refurbishment, Technical and-economic assessment, Sustainability

ÍNDICE GERAL

CAPÍTULO 1	Introdução	1
1.1	<i>Enquadramento</i>	1
1.2	<i>Âmbito do trabalho</i>	3
1.3	<i>Objectivos</i>	3
1.4	<i>Estrutura do trabalho</i>	4
CAPÍTULO 2	Caracterização de Coberturas de Edifícios Antigos	5
2.1	<i>Definição do objecto de estudo</i>	5
2.2	<i>Caracterização construtiva</i>	6
2.2.1	<i>A cobertura inclinada</i>	6
2.2.2	<i>A laje de esteira</i>	9
2.3	<i>Anomalias recorrentes</i>	11
CAPÍTULO 3	Soluções de Reabilitação Térmica	13
3.1	<i>Factores que influenciam o Comportamento Térmico</i>	13
3.1.1	<i>Pontes Térmicas</i>	14
3.1.2	<i>Inércia Térmica</i>	14
3.1.3	<i>Ventilação Natural</i>	15
3.1.3.1	<i>A micro-ventilação</i>	16
3.1.3.2	<i>A ventilação do desvão da cobertura</i>	17
3.1.4	<i>Higrometria dos espaços</i>	17
3.2	<i>Caracterização de soluções de reabilitação térmica gerais</i>	19
3.2.1	<i>Considerações Prévias</i>	19
3.2.2	<i>Seleção em função do uso</i>	19
3.2.3	<i>Seleção Exigencial de Isolantes Térmicos</i>	22
3.2.3.1	<i>Homologação e marcação CE</i>	22
3.2.3.2	<i>Certificação ISOLE + R</i>	23
3.2.3.3	<i>Coefficiente de Transmissão Térmica (U)</i>	24
3.3	<i>Quantificação do desempenho</i>	26

CAPÍTULO 4 Conceção de Soluções Específicas para os Edifícios em Estudo .29

4.1 *Caracterização construtiva do edifício da Rua D. Manuel II*.....29

4.2 *Caracterização construtiva do edifício da Rua de Fernandes Tomás*.....33

CAPÍTULO 5 Análise Técnico-económica.....37

5.1 *Enquadramento preliminar*37

5.1.1 Lã mineral (EN 13162).....38

5.1.2 Poliestireno moldado expandido (EN 13163)38

5.1.3 Poliestireno moldado extrudido (EN 13164).....38

5.1.4 Aglomerado negro de cortiça (EN 13170)39

5.2 *Metodologia*.....39

5.3 *Caracterização Técnica*42

5.3.1 Considerações Prévias42

5.3.2 Caracterização técnica dos isolantes térmicos.....43

5.3.3 Comparação Construtiva dos edifícios em estudo46

5.3.4 Caracterização dos sistemas construtivos.....47

5.3.4.1 Isolamento térmico contínuo sobre a laje de esteira [S1].....49

5.3.4.2 Isolamento térmico descontínuo sobre a laje de esteira [S2]51

5.3.4.3 Isolamento térmico sob a laje de esteira [S3].....52

5.3.4.4 Isolamento térmico sobre as varas da estrutura do telhado [S4]54

5.3.4.5 Isolamento térmico sob as varas da estrutura do telhado [S5]60

5.3.4.6 Isolamento térmico entre as varas da estrutura do telhado [S6].....65

5.4 *Caracterização Económica*70

5.4.1 Considerações Prévias70

5.4.2 Análise do Custo Global [C_g].....70

5.4.2.1 Análise do Custo Inicial [C_0].....72

5.4.2.2 Análise do Custo de Exploração [C_{exp}]78

5.4.2.3 Apresentação dos resultados do Custo Global78

5.4.3 Análise da Poupança Energética84

5.4.4 Análise do Período de Retorno.....85

5.4.5 Análise das Perdas Térmicas.....88

CAPÍTULO 6 Conclusões.....91

6.1 *Conclusões gerais*.....91

6.1.1 Factores importantes a considerar na avaliação técnica91

6.1.2 Factores importantes a considerar na avaliação económica92

6.2 *Conclusões sobre o princípio de intervenção de reabilitação térmica*.....93

6.2.1 Intervenção ao nível da laje de esteira.....93

6.2.2	Intervenção ao nível das vertentes.....	93
6.2.3	Material de isolamento térmico.....	94
6.3	<i>Recomendações para projecto</i>	95
6.4	<i>Desenvolvimentos futuros</i>	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		97
BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR.....		99
ANEXO I.....		i
ANEXO II		ii
ANEXO III.....		v
ANEXO IV		xv



ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Dimensão das asnas de madeira vulgares (ou asnas de Paladio) [16].	8
Tabela 2.2: Peso dos diferentes tipos de telhado [16].	9
Tabela 3.1: Caracterização da higrometria em função dos locais interiores [7].	18
Tabela 3.2: Tipos de soluções de reforço de isolamento térmico de coberturas inclinadas [1][14].	21
Tabela 3.3: Principais isolantes térmicos utilizados na reabilitação térmica de coberturas inclinadas, adaptado de [4] [14].	22
Tabela 3.4: Níveis mínimos de aptidão de utilização de isolantes térmicos em coberturas inclinadas [7].	24
Tabela 3.5: Níveis de Qualidade Térmica [7]	25
Tabela 3.6: Coeficiente de transmissão térmica em função do nível de qualidade térmica e da zona climática.	25
Tabela 3.7: Dados climáticos de referência para a estação de aquecimento dos concelhos de Lisboa, Porto e Bragança [2].	26
Tabela 5.1: Espessura dos Isolantes Térmicos e respectivos coeficientes U, em função do nível de qualidade térmica para soluções construtivas com isolamento contínuo.	40
Tabela 5.2: Espessura dos Isolantes Térmicos e respectivos coeficientes U, em função do nível de qualidade térmica para soluções construtivas com isolamento descontínuo.	41
Tabela 5.3: Caracterização técnica dos isolantes térmicos.	42
Tabela 5.4: Exigências ISOLE das soluções de reabilitação térmica.	42
Tabela 5.5: Peso do Isolamento Térmico contínuo por metro quadrado, em função do Nível de Qualidade Térmica.	44
Tabela 5.6: Peso do Isolamento Térmico descontínuo por metro quadrado, em função do Nível de Qualidade Térmica.	44
Tabela 5.7: Dados paramétricos dos casos em estudo.	46
Tabela 5.8: Legenda geral dos pormenores construtivos.	48
Tabela 5.9: Custos associados a tarefas.	72

Tabela 5.10: Custos dos trabalhos de execução de cada solução de isolamento térmico estudada.	72
Tabela 5.11: Preços médios de venda dos isolantes térmicos.	73
Tabela 5.12: Necessidades nominais de aquecimento [N_{ic}] em função do Nível de Qualidade Térmica, para cada Caso em Estudo.	78
Tabela 5.13: Custos energéticos para a solução sem isolamento térmico na cobertura.	85
Tabela 5.14: Período de retorno do investimento para o caso A.	86
Tabela 5.15: Período de retorno do investimento para o caso B.	86
Tabela 5.16: Período de retorno do investimento para o caso C.	87
Tabela 5.17: Níveis de Qualidade Térmica adequados em função da relação entre área de perdas térmicas pela cobertura e a área total de perdas pela envolvente exterior.	89
Tabela I.1: Coeficientes de Transmissão Térmica para os isolantes na Esteira Horizontal e nas Vertentes [8].	i
Tabela III.1: Quadro-resumo da solução S1 para o caso A.	vi
Tabela III.2: Quadro-resumo da solução S2 para o caso A.	vii
Tabela III.3: Quadro-resumo da solução S3 para o caso A.	viii
Tabela III.4: Quadro-resumo da solução S1 para o caso B.	ix
Tabela III.5: Quadro-resumo da solução S2 para o caso B.	x
Tabela III.6: Quadro-resumo da solução S3 para o caso B.	xi
Tabela III.7: Quadro-resumo da solução S4 para o caso C.	xii
Tabela III.8: Quadro-resumo da solução S5 para o caso C.	xiii
Tabela III.9: Quadro-resumo da solução S6 para o caso C.	xiv

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Cobertura inclinada.	5
Figura 2.2: Esquema estrutural da cobertura inclinada.	7
Figuras 2.3 e 2.4: Exemplos de diferentes composições estruturais das asnas.	8
Figuras 2.5 e 2.6: Exemplos de tectos estucados e de caixotões de madeira.	10
Figuras 2.7 e 2.8: Exemplos de excesso de argamassa.	12
Figura 2.9 e 2.10: Exemplos de acumulação de musgos e detritos.	12
Figura 3.1: Temperaturas diárias à superfície de diferentes coberturas, para um dia de Verão [5].	13
Figura 3.2: Isolamento térmico ao nível da Esteira Horizontal.	20
Figura 3.3: Isolamento térmico nas vertentes.	20
Figura 4.1: Alçados Sul e Norte.	29
Figuras 4.2 e 4.3: Vistas exterior e interior da cobertura.	30
Figura 4.4: Corte longitudinal com indicação das fracções a estudar.	31
Figura 4.5: Plantas do piso de entrada, do 1º, 2º e 3º andares e de coberturas.	32
Figura 4.6: Alçados Norte e Sul.	33
Figura 4.7: Plantas do piso de entrada, do 1º e 2º andares e de coberturas.	34
Figura 4.8 e 4.9: Vistas interiores do desvão da cobertura.	35
Figura 5.1: Elementos gráficos tipificados do sistema construtivo tradicional que serviram de base para a execução dos pormenores construtivos.	47
Figura 5.2: Solução de Isolamento térmico contínuo sobre a laje de esteira, com aplicação de manta.	49
Figura 5.3: Solução de Isolamento térmico contínuo sobre a laje de esteira, com aplicação de placa.	50
Figura 5.4: Solução de Isolamento térmico descontínuo sobre a laje de esteira.	52
Figura 5.5: Solução de Isolamento térmico contínuo sob a laje de esteira.	53
Figura 5.6: Solução de Isolamento térmico contínuo sobre as varas da estrutura do telhado.	54
Figura 5.7: S4 – Pormenor transversal.	56

Figura 5.8: S4 - Pormenor na zona do beirado.	57
Figura 5.9: S4 - Pormenor na zona da cumeeira.	58
Figura 5.10: S4 - Pormenor na zona de ligação com empena.	59
Figura 5.11: Solução de Isolamento térmico contínuo sob as varas da estrutura do telhado.	60
Figura 5.12: S5 – Pormenor transversal.	61
Figura 5.13: S5 – Pormenor na zona do beirado.	62
Figura 5.14: S5 – Pormenor na zona da cumeeira.	63
Figura 5.15: S5 – Pormenor na zona de ligação com empena.	64
Figura 5.16: Solução de Isolamento térmico descontínuo entre as varas da estrutura do telhado.	65
Figura 5.17: S6 – Pormenor transversal.	66
Figura 5.18: S6 – Pormenor na zona do beirado.	67
Figura 5.19: S6 – Pormenor na zona da cumeeira.	68
Figura 5.20: S6 – Pormenor na zona de ligação com empena.	69
Figura 5.21: Variação do custo global associado ao isolamento térmico de um elemento construtivo em função do respectivo coeficiente de transmissão térmica [15].	71
Figura 5.22: Custo do Investimento Inicial por metro quadrado [€/m ²] para a solução de Isolamento contínuo sobre a laje de esteira – S1.	74
Figura 5.23: Custo do Investimento Inicial por metro quadrado [€/m ²] para a solução de Isolamento descontínuo sobre a laje de esteira – S2.	74
Figura 5.24: Custo do Investimento Inicial por metro quadrado [€/m ²] para a solução de Isolamento contínuo sob a laje de esteira – S3.	75
Figura 5.25: Custo do Investimento Inicial por metro quadrado [€/m ²] para a solução de Isolamento contínuo sobre as varas da estrutura do telhado – S4.	75
Figura 5.26: Custo do Investimento Inicial por metro quadrado [€/m ²] para a solução de Isolamento contínuo sob as varas da estrutura do telhado – S5.	76
Figura 5.27: Custo do Investimento Inicial por metro quadrado [€/m ²] para a solução de Isolamento descontínuo entre as varas da estrutura do telhado – S6.	76
Figura 5.28: Percentagem do Custo Global para a solução S1 – Caso A, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.	79

Figura 5.29: Percentagem do Custo Global para a solução S2 – Caso A, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.	79
Figura 5.30: Percentagem do Custo Global para a solução S3 – Caso A, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.	80
Figura 5.31: Percentagem do Custo Global para a solução S1 – Caso B, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.	80
Figura 5.32: Percentagem do Custo Global para a solução S2 – Caso B, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.	81
Figura 5.33: Percentagem do Custo Global para a solução S3 – Caso B, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.	81
Figura 5.34: Percentagem do Custo Global para a solução S4 – Caso C, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.	82
Figura 5.35: Percentagem do Custo Global para a solução S5 – Caso C, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.	82
Figura 5.36: Percentagem do Custo Global para a solução S6 – Caso C, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.	83

CAPÍTULO 1 Introdução

1.1 Enquadramento

A perspectiva seguida para a elaboração do presente estudo tem uma linha orientadora que assenta nos princípios da sustentabilidade e do valor patrimonial. Actualmente são conceitos indissociáveis e basilares na definição dos princípios de regeneração urbana para os centros históricos e que se reflectem em três factores-chave: a sustentabilidade ambiental, a sustentabilidade económica e a sustentabilidade social.

No domínio da sustentabilidade ambiental, pode-se afirmar que as actuais exigências regulamentares vão, cada vez mais, no sentido de apostar num modo de vida ecológico e sobretudo sustentável.

Nesta perspectiva, não só é importante ter em conta formas de preservar o meio ambiente, mas a capacidade de reutilizar, aproveitar, poupar, etc. os recursos naturais – e, neste domínio as fontes de energia não renováveis têm particular relevância porque ainda são o motor de desenvolvimento das sociedades actuais.

E, intimamente relacionada com a primeira, a sustentabilidade económica tem vindo paulatinamente a ganhar ênfase, veja-se a crescente importância do cumprimento do Tratado de Quioto, muito particularmente para os países europeus, através da introdução de medidas e alterações legislativas no âmbito do desempenho energético, através da Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu. Este protocolo estabelece um limite para as emissões de CO₂, através do usufruto de direitos de emissão, os quais a curto prazo irão reflectir-se nos custos de energia produzida a partir dos combustíveis fósseis.

Em Portugal, para além disso, têm vindo a surgir medidas de intervenção estratégica no intento de moderar a tendência de crescimento dos consumos energéticos, nomeadamente através de regulamentos e do novo sistema de certificação, enquadrado no Programa para a Eficiência Energética nos Edifícios – P3E.

E é nesta circunstância que surge a última revisão do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [2], instrumento elaborado na década de 1980, mas com efeitos práticos a partir de 1991, que tem por base garantir a satisfação das condições de conforto térmico – uma exigência crescente por parte dos utentes - sem necessidades excessivas de energia, seja para a estação de aquecimento ou de arrefecimento, e que evoluiu, no sentido de maiores exigências de qualidade térmica da envolvente dos edifícios, impondo limites nos consumos energéticos.

A eficiência energética nos edifícios é um conceito recente mas que se reveste de uma importância fulcral no desenvolvimento sustentável das economias mun-

diais. Os pressupostos que definem o princípio da reabilitação energética são as intervenções que potenciam a correcção de situações de inadequação funcional, nomeadamente através da melhoria da qualidade térmica da envolvente e das condições de conforto e da redução do consumo de energia*.

Da mesma forma, a sustentabilidade pode ser encarada na perspectiva da durabilidade da construção. A crescente preocupação neste domínio entende ser prioritária a definição de metodologias de projecto que ajuízem os custos do ciclo de vida dos edifícios, tendo em conta as propriedades dos materiais e as características dos ambientes a que estão sujeitos.

Por outro lado, o esvaziamento populacional da cidade antiga é um fenómeno social e sintomático de anteriores posturas políticas desajustadas da realidade urbana. A sustentabilidade social é, cada vez mais, a linha orientadora para travar a degradação física dos centros urbanos, porque sem as pessoas a cidade deixa de fazer sentido. É forçoso que existam condições físicas adequadas à nova realidade para que os habitantes destas áreas críticas se revejam nelas e readquiram o sentido de pertença.

E, independentemente das exigências actuais no domínio da térmica, há que ajuizar a validade das soluções no que respeita ao cuidado com as preexistências. É forçoso ressaltar que estamos a tratar de edifícios existentes, com uma metodologia construtiva própria, com materiais e sistemas construtivos tradicionais, onde por vezes a actual regulamentação não pode ser levada ao extremo.

Para os casos de reabilitação do edificado, existem já ressalvas regulamentares que reflectem esta preocupação.

No entanto, é preciso sensibilizar os vários intervenientes imobiliários da necessidade de preservar, mais do que a imagem arquitectónica – que muitas vezes se resume à manutenção das fachadas originais – a memória dos sistemas tradicionais de construção que são, no final, o melhor património tangível capaz de perpetuar a identidade colectiva de um povo.

Por vezes, a conciliação destas posturas não é pacífica na medida em que existem diversos factores externos (pressões imobiliárias, qualidade construtiva do objecto arquitectónico, etc.) que influem na decisão final do princípio de intervenção.

Contudo, será pois de privilegiar a flexibilidade das soluções, sem anular ou destruir o valor intrínseco do edifício original, tendo, no entanto, em atenção que o conforto térmico é um requisito fundamental para a satisfação de critérios de habitabilidade.

* De acordo com o RCCTE [2] a eficiência no consumo energético é exigida para as acções de aquecimento e arrefecimento ambiente e aquecimento de águas sanitárias.

1.2 Âmbito do trabalho

A resposta às novas exigências regulamentares na área da reabilitação térmica de coberturas de edifícios antigos é um tema actual que tem implicações directas numa grande percentagem do parque habitacional português.

Particularmente os centros urbanos degradados das cidades são actualmente alvo de políticas de reabilitação e regeneração urbanas que têm na sua génese dotar os edifícios e os espaços urbanos de características de conforto que potenciem a reconciliação da população com a urbe. Tratam-se de directrizes que vêm sendo lentamente implementadas e que visam combater a desertificação que assola os grandes centros urbanos do nosso país.

Mas, associadas a estas políticas, existem preocupações no âmbito da salvaguarda da identidade cultural e patrimonial que uma intervenção no âmbito da reabilitação deve ter em consideração.

Estas preocupações são o reflexo de uma sociedade evoluída e contemporânea voltada para o futuro, e que reserva no passado a ancora do desenvolvimento social.

Este estudo visa esclarecer os vários intervenientes no processo construtivo - arquitectos e engenheiros, empreiteiros, agentes imobiliários e donos-de-obra – das diferentes possibilidades de intervir na reabilitação térmica das coberturas tradicionais, correlacionando e dando ênfase às vertentes técnica (a exequibilidade da solução) e económica (a mais-valia do investimento).

A análise da exequibilidade das soluções tem em consideração o seu enquadramento no meio de intervenção, que é existente e, naturalmente, condicionador.

1.3 Objectivos

Pretende-se efectuar um estudo de avaliação de diferentes soluções para a reabilitação da cobertura de edifícios antigos de construção tradicional, com vista à melhoria do seu comportamento térmico.

As soluções analisadas pretendem resumir o leque de opções possíveis que existem disponíveis no mercado, com base nos diferentes pressupostos de actuação.

A partir destas procedeu-se ao estudo de caracterização técnico-económica na intenção de concluir sobre as possíveis vantagens e eventuais menos-valias que daí resultem, tendo como pano de fundo o enquadramento no novo instrumento regulamentar do comportamento térmico dos edifícios.

Como aplicação prática, tomaram-se como objectos de estudo dois casos concretos de coberturas de edifícios antigos do centro do Porto para análise e verificação dos referidos sistemas construtivos.

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho está organizado por capítulos sendo que no **Capítulo 1** apresenta-se o tema proposto, explanando, de forma sucinta o seu âmbito, os objectivos a atingir e uma descrição da estrutura do trabalho apresentado.

No **Capítulo 2** são descritas, de uma forma sucinta e genérica, as características do elemento construtivo em análise, nas perspectivas arquitectónica e construtiva, e onde são também abordadas as anomalias mais comuns.

No **Capítulo 3** introduz-se a temática da reabilitação térmica enquadrada, no elemento construtivo, explorando os parâmetros exigenciais bem como os factores determinantes para o comportamento térmico. São também descritos os principais princípios de intervenção alvo de análise.

No **Capítulo 4** descrevem-se os edifícios que serviram de base para o estudo, abordando a sua composição construtiva geral e apontando os princípios de intervenção de reabilitação previstos.

No **Capítulo 5** analisam-se as soluções construtivas mais representativas das variantes possíveis de reabilitação térmica nas perspectivas técnica e económica. Dentro do âmbito técnico são analisadas as especificidades físicas dos materiais de isolamento em função da solução estudada, quanto ao peso, à resistência térmica, etc, em função dos Níveis de qualidade térmica estabelecidos, e os custos de investimento associados. A variação da espessura do isolante térmico é a geratriz de todo o processo de análise.

Na análise económica, apresentam-se os estudos realizados com base nas folhas de cálculo do RCCTE com vista à exploração da solução de isolamento térmico economicamente ideal.

No **Capítulo 6** apresentam-se as conclusões mais pertinentes que resultaram dos estudos parcelares, apontam-se possíveis desenvolvimentos futuros e formas de actuação mais concertantes com o acto de reabilitar.

CAPÍTULO 2 Caracterização de Coberturas de Edifícios Antigos

2.1 Definição do objecto de estudo



Figura 2.1: Cobertura inclinada.

O elemento construtivo aqui retratado é baseado em materiais e tecnologias tradicionais, cujo *savoir-faire* foi sendo transmitido ao longo de gerações, de forma empírica, e recorrendo a materiais de que dispunham na natureza.

A ausência de um conhecimento científico e sustentado das características e do comportamento dos materiais levou a que o cenário construtivo fosse constante durante séculos, aprimorado muitas vezes no sentido estético mas mantendo os princípios técnicos, cimentados pela experiência acumulada.

Muitos autores assumem o aparecimento do betão, ou do cimento *Portland*, como o momento de ruptura nas histórias da arquitectura e da construção. A rápida profusão desta inovadora tecnologia, com novas exigências e particularmente novas capacidades, levou ao abandono das técnicas tradicionais em prol de uma visão de modernidade, de rigor científico, de avanço tecnológico. No entanto, em virtude do frenesim experimentalista do novo mundo moderno, a aplicação desta metodologia construtiva foi levada ao extremo, sem uma avaliação ajuizada das consequências, quando serviu para substituir as técnicas “antigas”.

Entendeu-se, por isso, que o enquadramento do elemento construtivo em análise é relativo aos edifícios antigos, ou seja, àqueles que precederam a era revolucioná-

ria do betão armado, e que pontuam grande parte dos principais centros urbanos do nosso país. São edifícios, na grande generalidade, de construção tradicional corrente, com uso predominantemente habitacional, e com maior ou menor expressão arquitectónica, dependendo da capacidade financeira dos seus originais proprietários.

A tipologia urbana que se pretende retratar é sobretudo relativa aos prédios urbanos com função habitacional. A maioria dos exemplos encontrados é caracterizada por coberturas de quatro águas, com maior ou menor complexidade de desenho geométrico e com pequenas variantes arquitectónicas.

2.2 Caracterização construtiva

2.2.1 A cobertura inclinada

A generalidade das coberturas inclinadas rege-se pelo cumprimento de requisitos construtivos para garantir o seu perfeito funcionamento em serviço, nomeadamente no que respeita à forma, à inclinação, à reacção ao fogo e à ventilação.

A constituição e a forma das coberturas inclinadas estão intrinsecamente dependentes dos fenómenos ambientais e de uso. A definição da inclinação é determinada em função do meio ambiente a que estão sujeitas, muito particularmente da quantidade de precipitação, da exposição ao vento de cada região e da probabilidade de queda de neve.

Por outro lado, a utilização interior prevista entre a laje do último piso e o revestimento da cobertura define a tipologia da forma (sótão, mansarda, águas-furtadas, trapeira).

No entanto, e apesar das formas mais ou menos rebuscadas que as coberturas possam adquirir[†], o princípio construtivo que lhes está subjacente é sempre constituído por dois níveis, que se distinguem pela secção e pela capacidade resistente das peças estruturais.

O material que naturalmente se adequava a estas exigências era a madeira, não só pela disponibilidade e facilidade no manuseamento e colocação em obra, mas também pela trabalhabilidade que as suas características permitiam[‡]. Eventualmente havia o recurso a pequenos elementos de reforço em ferro que garantiam a consolidação das asnas de madeira.

[†] Para além das diferentes utilizações que se possam dar ao espaço e que por sua vez darão lugar a diferentes geometrias, a complexidade das coberturas inclinadas também varia com a importância do edifício. Como refere Appleton [1] «quanto mais “erudito” é o edifício mais completa e mais complexa, se apresenta a estrutura da cobertura».

[‡] Já Vitruvius, no seu *Tratado de Arquitectura*, chamava a atenção para a potencialidade da madeira nas diferentes partes da arte de construir com as devidas ressalvas que o material exigia para se obter um correcto e optimizado desempenho.

«O madeiramento dos telhados (...) é formado por uma série de vigas longitudinais convenientemente espaçadas e que recebem nome diverso segundo a posição que ocupam; assim a inferior, assentando na parede, é o frechal; a que corresponde ao espigão do telhado, o pau-de-fileira, ou simplesmente a fileira; as intermediárias são as madres ou terças.

Sobre este vigamento assentam perpendicularmente, e segundo a inclinação das águas do telhado, as varas ou caibros, que podem receber um forro de madeira, o guarda-pó, sobre que se pregam as ripas ou latas, afastadas mais ou menos segundo o tipo de telha empregada; para a telha de Marselha dispensa-se geralmente o guarda-pó, indispensável nos telhados mouriscados.» [16]

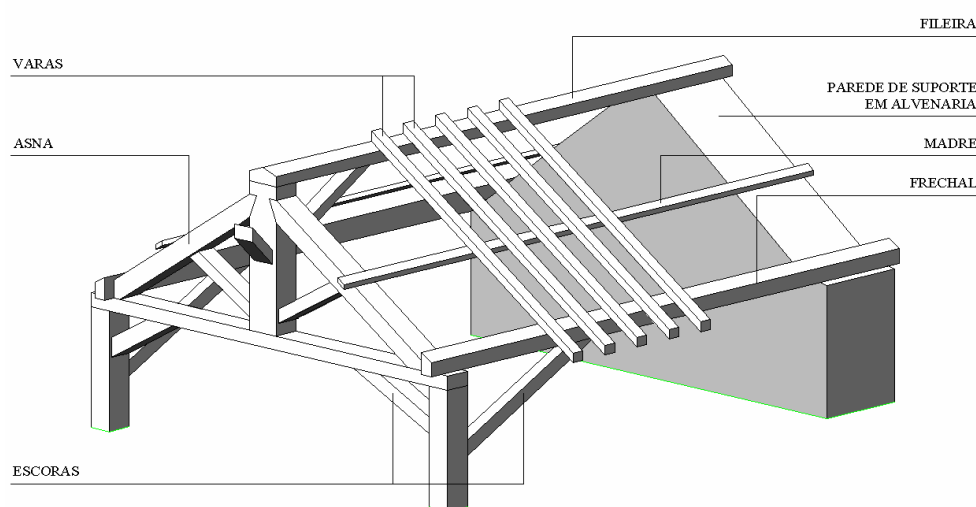


Figura 2.2: Esquema estrutural da cobertura inclinada.

Nas coberturas inclinadas correntes existe então uma **estrutura principal** composta pelas asnas – armações de madeiras trianguladas, compostas por peças de maior secção e resistência - que se repetem paralela e sucessivamente ao longo de uma planta de desenho regular e que geralmente se apoiam directamente nas paredes resistentes. Nos casos de telhados de planta regular de quatro águas, as asnas são complementadas com meias-asnas nos topos do edifício colocadas na bissetriz do cunhal.

Depois é constituída uma **estrutura secundária** - composta por madres, varas e ripas – que tem como função suportar o travamento das linhas das asnas e distribuir as cargas em determinados pontos, conferindo assim consistência ao conjunto.

Para além disso, este segundo conjunto estrutural vai permitir assentar o revestimento da cobertura, que regra geral para inclinações correntes era a telha cerâmica e em certos casos de maior pendente a ardósia, e ainda a chapa metálica, de zinco ou ferro galvanizado, para edifícios de carácter não residencial.



Figuras 2.3 e 2.4: Exemplos de diferentes composições estruturais das asnas.

Neste tipo de construção, e de acordo com as referências bibliográficas encontradas que caracterizam o sistema construtivo tradicional, o emprego da madeira era estritamente o necessário e o adequado para cumprir com as suas funções. Nesta perspectiva é importante assinalar as diferentes secções do madeiramento utilizado na execução da estrutura das coberturas, intrinsecamente dependentes do vão a vencer, como demonstra a tabela seguinte.

Tabela 2.1: Dimensão das asnas de madeira vulgares (ou asnas de Paladio) [16].

Vão	Perna	Linha	Pendural	Escoras	Madres	Fileira	Varas	Contra frechal
[m]	[cm]							
4.00	15 x 6	15 x 6	6 x 6	6 x 6	15 x 8	15 x 8	8 x 5	15 x 8
4.50	16 x 6	16 x 6	6 x 6	6 x 6	16 x 8	16 x 8	8 x 5	16 x 8
5.00	16 x 8	16 x 8	8 x 8	8 x 8	17 x 8	17 x 8	8 x 5	17 x 8
5.50	17 x 8	17 x 8	8 x 8	8 x 8	17 x 10	17 x 10	8 x 5	17 x 10
6.00	18 x 8	18 x 8	8 x 8	8 x 8	17 x 10	17 x 10	8 x 5	17 x 10
7.00	18 x 10	18 x 10	10 x 10	10 x 10	18 x 10	18 x 10	8 x 5	18 x 10
8.00	20 x 10	20 x 10	10 x 10	10 x 10	19 x 10	19 x 10	10 x 5	19 x 10
9.00	21 x 10	21 x 10	10 x 10	10 x 10	19 x 12	19 x 12	10 x 5	19 x 12
10.00	22 x 10	22 x 10	10 x 10	10 x 10	20 x 12	20 x 12	10 x 5	20 x 12

De acordo com vários autores, o modelo de **revestimento** mais divulgado nos edifícios de construção antiga e aquele que é considerado como tradicional é a telha canudo. E, de facto, a disponibilidade das matérias-primas (terra argilosa e areia) e a forma simples adoptada (de meia cana) são constantes que facilmente encontraram forma de proliferação no nosso país.

Mas, é preciso ter a noção que a introdução da telha Marselha em meados do século XIX teve grande aceitação. A partir desta altura é possível ver inúmeros exemplos de edifícios que utilizam este tipo de telha porque esta apresenta, à partida, vantagens, nomeadamente na execução, na garantia de estanquidade e no peso. Trata-se, pois, de uma telha de maiores dimensões e que não necessita de fixação com argamassa devido à sua configuração e sistema de encaixe.

Para os edifícios de habitação de construção tradicional e corrente, a introdução da telha de Marselha veio aligeirar a sobrecarga do revestimento sobre o madeiramento do telhado em comparação com a telha de canudo, conforme demonstra a tabela seguinte. Para além disso, o seu sistema de encaixe permite atingir uma maior inclinação do telhado, ampliando as potencialidades de aplicação deste modelo de revestimento.

Tabela 2.2: Peso dos diferentes tipos de telhado [16].

Natureza da cobertura	[kg/m ²]			Inclinação do telhado
	Revestimento	Madeiramento	Total incl. Sobrecargas	
Telha de canudo	60 a 70	55	180	22° a 34°
Telha de Marselha	35 a 50		145	22° a 45°
Ardósias pequenas	25 a 30	50	130	30° a 60°
Ardósias grandes	35 a 40			
Chapa de zinco	6 a 9		100	8° a 20°
Chapa de ferro galvanizado	7 a 8	40		
Chapa de fibrocimento	16		120	15° a 45°

2.2.2 A laje de esteira

Na tipologia que se pretende caracterizar, regra geral, os edifícios são também compostos por uma laje de esteira, que na sua versão mais completa compreende o vigamento, o soalho e o tecto, e que separa o último piso do desvão do telhado. Permite-se assim que o desvão tenha garantido uma franca ventilação (tão indispensável para a durabilidade dos seus componentes, para o equilíbrio termohigrométrico, etc.) e as áreas habitáveis estejam mais protegidas termicamente.

O **vigamento** consiste numa série de vigas ou barrotes, dispostos paralelamente (numa planta de desenho regular) e com pequeno intervalo entre si, e assentando pelos extremos nos frechais ou em cachorros ou simplesmente embebida na parede. Nesta situação, e a título de curiosidade, o encastramento deve prever a protecção da madeira conforme descreve [16]:

«Para proteger a madeira contra o apodrecimento usa-se pintar as pontas a encastrar na parede com tinta de óleo, zarcão por exemplo, ou com alcatrão; ainda se costuma acompanhá-las com uma folha de zinco ou com cortiça em placas.»

Quando o vão a vencer é considerável recorre-se à introdução prévia de outras vigas de maior secção, estrategicamente dispostas a meio ou a terços, de forma a diminuir o vão do vigamento.

Para além disso, quando o vigamento for muito comprido pode, sob acção do peso, tender a deslocar-se lateralmente. Um dos meios mais usados para diminuir a flecha do vigamento é o emprego de tarugos.

«Sendo metidos à força e devido a serem mais largos em cima, fazem com que o vigamento suba um pouco até que as faces dos topos dos tarugos sejam apertadas em toda a sua superfície; assim se consegue reforçar o vigamento transformando-o num todo solidário.»

Na generalidade dos casos, quando existe o **solho** a revestir o piso dos espaços de sótão, este é constituído por tábuas de solho simplesmente justapostas, colocadas perpendicularmente às vigas e pregadas ao vigamento nas suas extremidades.

E, finalmente, existem essencialmente duas formas de executar o **tecto**: em estuque ou com forro de madeira.

O tecto estucado é formado por uma série de réguas ou fasquias pregadas ao vigamento.

«A esta operação segue-se o enchimento do tecto a pardo e em seguida mete-se o estuque. (...) Pode pregar-se o fasquiado a um sarrafado apropriado independente do vigamento e paralelo a ele o que apresenta a vantagem de se não comunicarem ao estuque as vibrações do sobrado, que o podem fazer estalar, além de permitir a livre circulação do ar, garantindo-se assim a duração da madeira.»

«Nos tectos descritos o vigamento fica sempre oculto; pode porém ficar à vista e concorrer para a ornamentação do tecto. Então os barrotes são cuidadosamente aparelhados e têm as arestas inferiores mais ou menos molduradas»



Figuras 2.5 e 2.6: Exemplos de tectos estucados e de caixotões de madeira.

2.3 Anomalias recorrentes

Considerando que este elemento construtivo corresponde à parte do edifício mais sujeita aos fenómenos exteriores de uma forma continuada (água, vento, poeiras, etc.), não será de estranhar que as coberturas apresentem com o tempo um quadro generalizado de anomalias.

As anomalias mais recorrentes neste tipo de estrutura – em coberturas de madeira e também em pavimentos – são o apodrecimento, o ataque dos elementos por fungos e insectos, ou ainda o desenvolvimento a longo prazo de deformações excessivas.

Contudo, as principais anomalias que estão associadas às coberturas inclinadas são motivadas pela acção da água da chuva. As infiltrações podem ocorrer essencialmente de três formas: ou através de deficiências na estrutura de suporte, ou através de disfunções na rede de drenagem das águas pluviais, ou ainda através de anomalias no revestimento.

O primeiro caso tem que ver com situações de deformação excessiva da madeira (essencialmente devido a erros de dimensionamento estrutural da madeira, mas também pode ocorrer pela sua deformação natural) que provocam movimentos de adaptação de todo o sistema e podem conseqüentemente permitir a penetração de água. A humedificação da madeira tem como consequência a perda das suas características, nomeadamente devido a perda de secção ou degradação da resistência e capacidade de deformação do próprio material. O conseqüente apodrecimento das estruturas de madeira ocorre sobretudo nos apoios do vigamento pela acção da humidade nas paredes, prejudicando severamente a consolidação global dos edifícios.

A segunda situação resulta do descuido, ou da ausência de manutenção, do sistema de escoamento da água originando entupimentos nas diversas componentes de drenagem como caleiras, algerozes, clarabóias ou nos remates com elementos emergentes (como edifícios confinantes ou platibandas) e, eventualmente, a danificação de partes do referido sistema (essencialmente caleiras, tubos de queda e zonas singulares).

Por último, são de referir as infiltrações que resultam das deficiências do material de revestimento e que podem ter origens várias desde telhas fracturadas ou deslocadas, até ao aumento do peso da cobertura (devido à colocação de camadas de argamassa excessivas), ou à acumulação de musgos e detritos.

Este cenário de anomalias, pela acção da água da chuva, deriva de deficiências de estanquidade que ocorrem ao nível do revestimento exterior.

A penetração acontece, essencialmente, em zonas singulares que se revelam incorrectamente dimensionadas ou executadas como as juntas de sobreposição dos elementos de revestimento, as ligações de contorno de chaminés e outros elementos

emergentes, as ligações do revestimento a platibandas, os beirais, bordos, cumeeiras, algerozes e tubos de queda.

Além disso, há que considerar também as anomalias derivadas da inexistência ou da danificação de telhas de ventilação, cuja função será a de garantir a micro-ventilação referida anteriormente.



Figuras 2.7 e 2.8: Exemplos de excesso de argamassa.



Figura 2.9 e 2.10: Exemplos de acumulação de musgos e detritos.

CAPÍTULO 3 Soluções de Reabilitação Térmica

3.1 Factores que influenciam o Comportamento Térmico

Tendo em consideração o presente objecto de estudo, e partindo do conhecimento prévio que se trata do elemento construtivo sujeito às maiores amplitudes térmicas, a reabilitação térmica deve ter simultaneamente em conta as necessidades de conforto no Verão e no Inverno.

Uma cobertura pode atingir, durante o dia, temperaturas elevadas devido à exposição directa à radiação solar, enquanto que, durante a noite, ocorre a maior perda de calor por radiação, tal como o demonstra a figura:

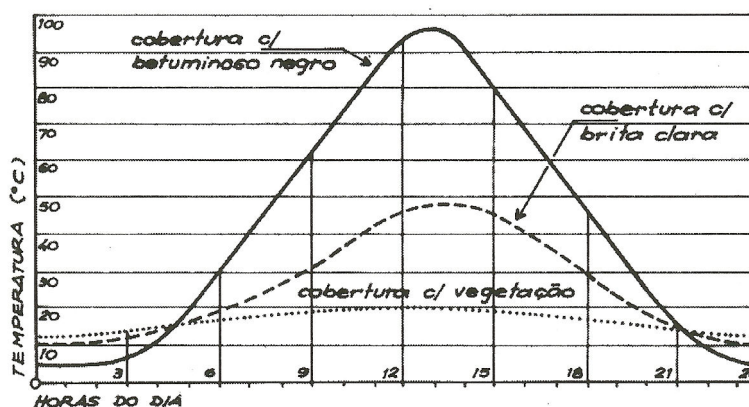


Figura 3.1: Temperaturas diárias à superfície de diferentes coberturas, para um dia de Verão [5].

A construção humana tem, desde sempre, tentado uma adaptação ao clima partindo do estudo da localização, da forma e da configuração da envolvente, de modo a tirar melhor partido das condições naturais. Esse é também o ponto de partida da Arquitectura Bioclimática, que se propõe otimizar as relações energéticas com a envolvente.

Para enquadrar a problemática da reabilitação térmica da cobertura dos edifícios existentes é fundamental ter em consideração que existem factores que influenciam o comportamento térmico.

No entanto, tratando-se de reabilitação de edifícios antigos, os factores em que é possível intervir são condicionados pela própria natureza da construção, ou seja, nestes casos particulares, em que se tratam de objectos arquitectónicos existentes a forma do edifício (ou, neste caso específico, da cobertura), ou a orientação solar, ou a disposição dos envidraçados, são elementos já de si condicionadores, impossíveis de alteração.

Contudo, existem outros factores que actuam no universo deste estudo e, merecendo uma análise mais fundamentada, são de seguida explorados.

3.1.1 Pontes Térmicas

«Uma ponte térmica é, toda e qualquer zona da envolvente dos edifícios em que a resistência térmica é significativamente alterada em relação à zona corrente.» [6]

Consequentemente, este fenómeno provoca um aumento do consumo energético para o aquecimento e o surgimento de certas anomalias na envolvente que contribuem para a diminuição da durabilidade do edifício.

O fenómeno de ponte térmica ocorre quando existe uma descontinuidade na geometria da estrutura e sempre que o isolamento é interrompido por materiais com um coeficiente de transmissão térmica mais elevado. O isolamento térmico só é completamente eficiente se cobrir totalmente a superfície a ser isolada.

Da mesma forma, surge quando há uma alteração da geometria da envolvente, nomeadamente no caso de ligações entre diferentes elementos construtivos - considerando o caso mais desfavorável na ligação entre paredes e pavimentos.

Além de perdas energéticas elevadas (que podem atingir os 30% de perdas de calor [6]), a ocorrência de pontes térmicas pode originar o aparecimento de condensação de vapor de água em pontos singulares a partir do momento em que existe um diferencial de temperatura entre os diferentes elementos construtivos. Este fenómeno, que provoca o aparecimento de manchas, bolores e fungos, está na base de problemas de salubridade e acaba por levar à deterioração dos revestimentos interiores da envolvente exterior.

De forma a evitar o aparecimento das condensações superficiais existem alguns princípios que do ponto de vista da construção contribuem significativamente para a sua eliminação:

- Aumento da temperatura superficial interna do elemento através do incremento do isolamento;
- Redução da produção do vapor de água no interior do edifício através da sua extracção localizada;
- E aumento da taxa de ventilação do espaço em questão.

3.1.2 Inércia Térmica

A inércia térmica de um edifício é gerada pela capacidade de armazenamento térmico dos seus diversos elementos, desde as paredes – exteriores e interiores, aos pavimentos e aos tectos, e ao próprio mobiliário.

A procura de soluções construtivas, que garantam as condições mínimas de conforto térmico, pressupõe um conhecimento eficaz do comportamento dos edifícios. Além disso, a importância da caracterização do balanço termo-higrométrico entre

os ambientes interior e exterior do edifício ao longo do ano, tem relevância para a determinação dos seus consumos energéticos.

Quer os valores previsíveis para o consumo de energia ao longo de toda uma estação, de aquecimento ou arrefecimento, quer a potência máxima estimada a fornecer, decorrem do balanço entre as perdas/ganhos de calor através da envolvente (pelos elementos de construção e por ventilação) e os ganhos decorrentes da energia solar e da ocupação interna [11]. Neste balanço, para além do isolamento térmico da envolvente, também a inércia térmica interior desempenha papel preponderante.

Teoricamente e para uma situação otimizada, o armazenamento térmico deveria permitir criar um desfaseamento horário para os valores extremos das temperaturas interior e exterior, considerando alguns autores a situação ideal das 12 horas.

De uma forma simples, é possível deduzir que quanto mais “pesado” é o edifício mais amortecida e desfasada é a onda de calor transmitida do exterior.

Contudo, para que o mecanismo da inércia térmica do edifício funcione eficazmente é importante que a massa de armazenamento térmico não esteja impedida de absorver calor devido à aplicação de revestimentos termicamente resistentes ou de isolamento térmico no seu paramento interior.

Esta capacidade física dos materiais pode, portanto, regular a temperatura interior atenuando-a face às temperaturas extremas exteriores, logo, contribuindo para melhorar as condições de conforto. E, se devidamente dimensionada e projectada, a inércia térmica pode ter um efeito relevante no consumo de energia.

Para definir a inércia térmica interior é preciso ter em conta a massa superficial útil (M_{si}) de cada elemento de construção interveniente, considerando a sua localização no edifício e a sua constituição, nomeadamente o posicionamento e as características das soluções de isolamento térmico e de revestimento superficial.

Para efeitos dos cálculos energéticos do RCCTE, é necessário definir a classe de inércia térmica para cada fracção a estudar, dado que quanto mais forte for, melhores resultados de eficiência energética se poderá obter.

3.1.3 Ventilação Natural

A utilização dos edifícios de habitação tem inerente a produção de substâncias que derivam, não só da ocupação física dos seus habitantes – pela respiração e transpiração, mas também da existência das diversas actividades domésticas – p.ex. vapor de água, dióxido e monóxido de carbono. A permanência destas substâncias no seu interior contribui para a degradação do bem-estar físico dos seus ocupantes e acelera o processo de degradação dos materiais de construção.

Para haver uma salubridade do ar interior é necessário que exista uma renovação desse ar, através de trocas entre o interior e o exterior. A ventilação natural é um processo promovido pela diferença de pressão entre os elementos das fachadas

(como portas, janelas, chaminés, frinchas, etc.), quer por acção do vento, quer pela diferença de temperaturas interior/exterior.

A ventilação natural tem um papel extremamente importante na remoção do calor do interior do edifício e no estabelecimento das condições de conforto térmico, não só por diminuir a temperatura no interior mas ainda por acelerar as trocas evaporativas à superfície do corpo dos ocupantes [13].

Este processo é tão importante no Inverno como no Verão, pois contribui de forma decisiva para o equilíbrio entre a temperatura e a humidade relativa do espaço interior, que é o factor essencial para garantir o bem-estar humano.

Por um lado, no Inverno, a perturbação causada pelos excessos de vapor de água e de dióxido de carbono produzidos através das actividades desenvolvidas nas habitações, dos ganhos solares pelos envidraçados e dos aparelhos de aquecimento, obrigam a uma extracção do ar saturado.

Por outro, no Verão, a ventilação por acção do vento promove o arrefecimento das habitações. As amplitudes térmicas que ocorrem no clima português podem ser aproveitadas durante o período nocturno, quando a temperatura exterior decresce.

A ventilação deve ser controlada de forma a não gerar correntes de ar incómodas para os ocupantes e a não incrementar, desnecessariamente, as perdas energéticas nos meses em que, por razões de conforto térmico, é necessário proceder ao aquecimento das habitações [12].

O mecanismo tradicional recorrente em Portugal traduz-se pela eliminação do vapor de água produzido no seu interior através da migração para o exterior pelos elementos da envolvente (sejam paredes ou cobertura). Contudo, esta situação só funciona se os mesmos elementos da envolvente permitirem a saída do vapor, não podendo, por isso, ser absolutamente estanques.

No caso específico de coberturas, a ventilação natural tem particular importância porque contribui, no Inverno, para a secagem dos materiais e para a eliminação do vapor de água e, no Verão, para minimizar o sobreaquecimento.

Assim, na ventilação de coberturas tradicionais, é preciso garantir dois tipos distintos de ventilação:

- A micro-ventilação;
- A ventilação do desvão da cobertura.

3.1.3.1 A micro-ventilação

É sabido que a entrada de água nas coberturas inclinadas é frequente, não só pelo simples facto da argila ter capacidade de absorção de água, mas também por estar exposta à chuva e ao vento. Por isso, garantir o arejamento das telhas na sua face inferior é a forma de prevenir uma gradual degradação dos componentes (não só da telha em si mas do ripado de assentamento, geralmente de madeira). Para

além do mais, esta forma de ventilação vai permitir um equilíbrio térmico em todos os pontos da cobertura.

A micro-ventilação é caracterizada pela circulação do ar (com entrada e saída) junto à face inferior da telha e onde o vento tem influência na sua eficácia. O movimento do ar baseia-se no princípio da tiragem térmica, em que o ar admitido numa zona mais baixa (em orifícios de ventilação na zona do beirado), a uma temperatura inferior (temperatura do ar exterior), é aquecido por acção do calor perdido pela cobertura no Inverno ou pela radiação da telha no Verão, torna-se mais leve e sobe, saindo por uma abertura mais alta (cumeeira) [3].

Para além disso, o recurso a telhas de ventilação dispostas em vertentes opostas (propiciando a criação de correntes de escoamento de ar sobreaquecido) também contribui de forma significativa para este efeito. Estas peças complementares devem ser aplicadas na 2ª ou 3ª fiadas junto ao beiral e na penúltima, junto à cumeeira. Mesmo que se trate de um telhado só de uma água que remate superiormente com uma parede, o procedimento deverá ser idêntico, para suprir a ausência de cumeeira.

3.1.3.2 A ventilação do desvão da cobertura

Este segundo tipo corresponde à ventilação que é garantida pela permeabilidade ao ar sob a acção do vento, quando se tratam de soluções de telha vã em que o desvão não é habitável e o telhado não é composto por forro.

No entanto, e tendo em conta a cada vez mais frequente introdução do isolante térmico no sistema de cobertura, é necessário considerar o fenómeno de condensação que ocorre quando o vapor de água proveniente do interior atinge a superfície exterior do isolamento e entra em contacto com o ar frio do exterior. Esta situação é válida para qualquer que seja o suporte do isolamento, seja a laje horizontal, sejam as águas inclinadas do telhado.

Quando o desvão é habitável, a sua ventilação tem que ser garantida de outra forma para manter a salubridade e evitar as condensações. Neste caso, deve ser prevista uma caixa-de-ar entre a face superior do isolante e a face inferior do ripado da cobertura.

3.1.4 Higrometria dos espaços

A produção de vapor de água no interior dos edifícios está dependente das actividades que se processam no seu interior.

A humidade de um local interior ventilado resulta do equilíbrio entre a produção de vapor no interior e o número de renovações horárias, podendo-se definir-se um parâmetro designado por higrometria que traduz o aumento da humidade interior em relação à humidade exterior e define o gradiente de pressão de vapor a que se encontra submetida a envolvente [3].

Para definir e discriminar os edifícios em função da sua higrometria, estes são classificados de acordo com essas actividades que albergam, considerando determinadas condições de uso, como indica a tabela seguinte.

Tabela 3.1: Caracterização da higrometria em função dos locais interiores [7].

HIGROMETRIA	TIPOS DE LOCAIS
Fraca	Escritórios, escolas, ginásios
Média	Habitações não sobreocupadas e correctamente ventiladas
Forte	Habitações com ventilação deficiente e indústrias
Muito forte	Piscinas e certos locais industriais

Quando se pretende reduzir os fluxos de vapor que atravessam um elemento diminui-se a sua permeância ao vapor da água, nomeadamente através da colocação de camadas com elevada resistência à difusão de vapor. Contudo, na colocação destas camadas terá que se ter em consideração o posicionamento dos materiais em função das suas propriedades, pois este é um factor muito importante na existência de condensações internas [10].

Tendo em conta que o fluxo de vapor se processa do interior para o exterior de um elemento construtivo, a resistência à difusão de vapor de água das camadas deverá diminuir progressivamente. De acordo com este princípio, a aplicação de uma barreira pára-vapor deverá acontecer pelo interior das camadas de isolamento térmico. Por seu turno, pelo exterior dever-se-ão aplicar componentes de elevada permeância ao vapor.

A permeância ao vapor de água [P_e] é o parâmetro mais importante na caracterização de uma barreira pára-vapor, cuja definição se resume à capacidade de resistência do elemento à passagem do vapor de água e, por isso, fundamental no controlo das condensações internas.

Para além disso, na selecção de barreiras pára-vapor é necessário ter em consideração alguns factores como a resistência mecânica, a aderência e a elasticidade, a estabilidade higrotérmica, a resistência e reacção ao fogo, entre outros.

3.2 Caracterização de soluções de reabilitação térmica gerais

3.2.1 Considerações Prévias

A concepção de coberturas inclinadas tem por base a satisfação de alguns requisitos funcionais, de entre os quais interessa aqui destacar as acções de melhoria das condições higrotérmicas, particularmente as anomalias associadas à humidade e à insuficiência de isolamento térmico[§].

De forma a garantir o conforto interior de um edifício, tal como acontece com as fachadas, a cobertura também deve possuir isolamento térmico para reduzir as perdas térmicas, no Inverno, e os ganhos de calor, no Verão.

No Inverno, a escolha do tipo de isolamento pode variar em função da utilização do desvão da cobertura.

No Verão, para além disso, é necessário melhorar as condições de ventilação para facilmente controlar o escoamento do ar sobreaquecido provocado pela radiação solar. Este aspecto é particularmente importante para garantir o conforto higrotérmico do espaço interior. E é simultaneamente de muito fácil resolução através da colocação de telhas de ventilação, dispostas em vertentes opostas de modo a estimular a criação de correntes de escoamento do ar.

Associada à escolha do sistema de isolamento térmico, mais adequado a cada caso, deverá corresponder uma ponderação do seu desempenho face às solicitações a que é correntemente submetido durante o período de vida. É necessária uma correcta avaliação de certos aspectos para garantir a durabilidade da intervenção, nomeadamente a qualidade do suporte, as características do isolamento, a exposição à acção do vento e da chuva, a higrometria dos espaços, a aptidão ao uso e o risco de condensações internas e superficiais.

3.2.2 Selecção em função do uso

De uma forma geral, o isolamento de uma cobertura inclinada pode ocorrer de duas maneiras distintas e que tem que ver com o tipo de ocupação do desvão – o isolamento ao nível da esteira horizontal ou nas vertentes da cobertura.

A caracterização dos sistemas construtivos de reforço do isolamento térmico, tal qual como estão discriminados, baseiam-se nas soluções constantes na publicação de informação técnica de edifícios do LNEC [8]. Foi com base nesses valores dos coeficientes de transmissão térmica para as diferentes opções construtivas que resultou o presente estudo.

[§] O isolante térmico tem a capacidade de garantir um aumento da resistência térmica da envolvente opaca exterior, ou uma diminuição das trocas de calor através dos seus elementos. É o material de condutibilidade térmica inferior a $0,065 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$, ou cuja resistência térmica é superior a $0,30 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$.

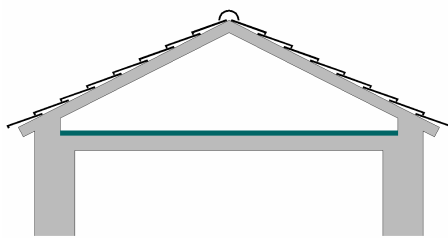


Figura 3.2: Isolamento térmico ao nível da Esteira Horizontal.

O **Isolamento térmico ao nível da Esteira Horizontal** é uma opção construtiva que reporta a situações em que o espaço da cobertura não se destina ao uso permanente de pessoas ou ao armazenamento de materiais e equipamentos.

É a solução que apresenta um maior grau de satisfação na medida em que permite assegurar a franca ventilação do desvão e é simultaneamente a solução mais económica em relação ao isolamento das vertentes, não só porque o volume a aquecer é menor – traduzindo-se num menor consumo de energia, mas também porque a área a isolar é menor.

Por outro lado, no Verão esta solução permite que haja um melhor desempenho térmico através da dissipação do calor pela ventilação do desvão [9].

Regra geral, as variantes possíveis para o isolamento da esteira são mais fáceis de executar quando comparadas com o isolamento das vertentes.

E dentro de este princípio é possível distinguir três soluções construtivas:

- Isolamento contínuo sobre a laje de esteira [S1] (ver ponto 5.3.4.1);
- Isolamento descontínuo sobre a laje de esteira [S2] (ver ponto 5.3.4.2);
- Isolamento contínuo sob a laje de esteira [S3] (ver ponto 5.3.4.3).

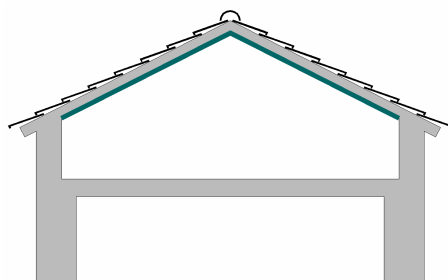


Figura 3.3: Isolamento térmico nas vertentes.

O **Isolamento térmico ao nível das Vertentes** é um princípio que prevê a utilização do desvão do telhado como um espaço habitável.

Quando esta solução é admitida é necessário assegurar formas eficazes de ventilação para evitar a degradação dos materiais, nomeadamente através da existência de uma lâmina de ar ventilada entre o revestimento exterior da cobertura e o isolante térmico.

Para além disso, a possibilidade de ocorrer penetração de água da chuva batida através das juntas do revestimento descontínuo da cobertura é elevada, o que origina a introdução de uma camada de protecção para impedir a molhagem do isolante (salvaguardando-se, contudo, a permeabilidade ao vapor de água para anular a possibilidade de ocorrência de condensações internas).

Para a aplicação deste princípio é possível considerar três soluções construtivas:

- Isolamento contínuo sobre as varas da estrutura do telhado [S4] (ver ponto 5.3.4.4);
- Isolamento contínuo sob as varas da estrutura do telhado [S5] (ver ponto 5.3.4.5);
- Isolamento descontínuo entre as varas da estrutura do telhado [S6] (ver ponto 5.3.4.6).

Tabela 3.2: Tipos de soluções de reforço de isolamento térmico de coberturas inclinadas [1][14].

TIPOS DE SOLUÇÕES			
Na esteira horizontal	Superior	Mantas de lã mineral	
		Placas de material isolante	
	Inferior	Fibras ou flocos de lã mineral	
		Material isolante a granel	Granulados (de argila expandida, de betão celular autoclavado, etc.)
	Inferior	Revestimentos isolantes	Revestimentos descontínuos (placas fixadas mecanicamente ou coladas)
		Tectos-falsos	Tecto-falso isolante
Nas vertentes	Superior	Painéis isolantes especiais (integrando varas, forro interior e isolante térmico)	
	Inferior	Mantas de lã mineral (recobertas eventualmente com um forro interior)	Fixadas contra as varas da cobertura
			Fixadas contra réguas dispostas sob as varas e ao longo destas
		Cruzadas em duas camadas, com interposição de réguas normais às varas	Fixadas contra a laje inclinada
			Placas de material isolante fixadas às varas (lã mineral, aglomerado negro de cortiça, etc.)

Na tabela que se segue estão referenciados os diferentes tipos de isolante térmico disponíveis no mercado, e que melhor se adequam ao uso previsto do desvão.

Tabela 3.3: Principais isolantes térmicos utilizados na reabilitação térmica de coberturas inclinadas, adaptado de [4] [14].

ISOLAMENTO TÉRMICO		(1)			(2)		(3)		
Localização	Solução	EPS	XPS	PUR	MW	ICB	MW	VA	LWA
Na esteira horizontal	Sobre a esteira	•	•	•	•	•	•	•	•
Nas vertentes	Sobre a estrutura resistente	•	•	•	•	•	•		
	Sob a estrutura resistente	•	•	•	•	•	•		

EPS - poliestireno expandido moldado

(1) Placas

XPS - espuma de poliestireno extrudido

(2) Mantas

PUR - espuma rígida de poliuretano

(3) Granulados

MW - lã mineral

ICB - aglomerado negro de cortiça

VA - vermiculite expandida

LWA - argila expandida

3.2.3 Selecção Exigencial de Isolantes Térmicos

3.2.3.1 Homologação e marcação CE

A Directiva Europeia 89/106/CE, de 21 de Dezembro de 1988**, alterada pela Directiva 93/68/CEE, de 22 de Julho de 1993, também designada por Directiva Comunitária dos Produtos da Construção – DPC, está na base da criação do mercado interno livre para os produtos da construção ao promover a elaboração de normas europeias harmonizadas e de aprovações técnicas europeias (ETA), que substituem as diversas normas técnicas nacionais dos estados-membros.

De acordo com estes documentos, os produtos de construção só deverão ser comercializados no espaço europeu se apresentarem características que satisfaçam os requisitos essenciais definidos no anexo I do DPC, durante um período de vida útil economicamente razoável.

Os Requisitos Essenciais definidos no anexo I do DPC a que respeitam as exigências associadas aos produtos de construção são ao nível da resistência mecânica e estabilidade, da segurança contra incêndios, da higiene, saúde e ambiente, da

** Transposta para o Direito Nacional pelo Dec.Lei n.º 113/93, de 10 de Abril, alterado pelo Dec.Lei n.º 4/2007, de 8 de Janeiro.

segurança na utilização, da protecção contra o Ruído e da economia de energia e retenção de calor.

E para o caso dos isolantes térmicos, desde 2003 que os fabricantes estão obrigados a declarar as características relevantes dos seus produtos, em particular a resistência e a condutibilidade térmicas – factores essenciais para a avaliação do nível de isolamento térmico da envolvente opaca dos edifícios - tendo por base um referencial europeu comum que atesta a conformidade desses produtos, a “marcação CE”. Entre as exigências mínimas constantes das normas harmonizadas encontra-se o sistema de comprovação de qualidade, o qual inclui obrigatoriamente o controlo de produção.

3.2.3.2 Certificação ISOLE + R

A metodologia recomendada para a escolha do tipo de isolante em função da sua utilização é a certificação preconizada pela ACERMI – *Association pour la Certification des Matériaux Isolants*.

As exigências constantes desta certificação são as que se apresentam de seguida e cada um dos parâmetros, relevantes para a definição dos isolantes térmicos, varia segundo determinados níveis de aptidão de utilização definidos pelo CSTB^{††} – na especificação 2928 (“Certificação e classificação de produtos da construção: exemplos de uso de propriedades certificadas”) e cujos parâmetros quantitativos e qualitativos são constantes em [7].

De forma resumida, podem ser definidos por:

- **I** – 5 níveis – Compressibilidade: caracteriza a deformação - variação de espessura - dos isolantes sob acção da carga a que estão sujeitos;
- **S** – 5 níveis – Estabilidade Dimensional: avalia a estabilidade, ao longo do tempo, das dimensões iniciais do material de isolamento sob acção da temperatura e/ou humidade - variações dimensionais.
- **O** – 3 níveis – Comportamento à água: caracteriza a resistência à água do material de isolamento - impermeabilidade e absorção da água.
- **L** – 4 níveis – Comportamento mecânico: caracteriza a coesão e a rigidez do material de isolamento após testes de compressão, flexão, tracção, corte, punçoamento, acções dinâmicas e deformação com carga permanente.
- **E** – 5 níveis – Permeabilidade ao vapor de água: caracteriza a aptidão do material de isolamento para suportar a difusão do vapor de água.

Para cada uma das opções construtivas deverão ser tidas em consideração as exigências constantes da certificação indicadas na tabela seguinte.

^{††} *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*

Tabela 3.4: Níveis mínimos de aptidão de utilização de isolantes térmicos em coberturas inclinadas [7].

	I	S	O	L	E
Desvão não acessível, ventilado					
Isolante sobre laje horizontal	1	1	1	1	1
Isolante nas vertentes					
Isolante interior contínuo associado à estrutura descontínua	1	1	1	1	1
Isolante exterior sobre laje inclinada (*)	3	1	2	2	1

(*) Ventilação obrigatória do espaço de ar.

O parâmetro R corresponde à resistência térmica recomendada para o isolamento térmico e é determinado, não só pela composição da envolvente exterior e interior, mas também em função do nível de qualidade térmica desejado para a envolvente do edifício em estudo e da zona climática onde está inserido (de acordo com o Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios).

3.2.3.3 Coeficiente de Transmissão Térmica [U]

O coeficiente de transmissão térmica [U] é o parâmetro que define o comportamento térmico de cada elemento de construção e exprime o fluxo de calor que atravessa o elemento por unidade de área e pela diferença de temperatura entre o exterior e o interior [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$].

Tratando-se de elementos constituídos por um ou vários materiais, em camadas de espessura constante, o valor de U é calculado através da fórmula que se apresenta:

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

onde:

- R_{si} → resistência térmica superficial interior [$m^2 \cdot ^\circ C/W$];
- R_{se} → resistência térmica superficial exterior [$m^2 \cdot ^\circ C/W$];
- R_j → resistência térmica da camada j [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

No RCCTE são considerados dois parâmetros importantes para a execução do projecto: o coeficiente máximo admissível [U_{max}] e o coeficiente de referência [U_{ref}]. Os valores máximos são os admissíveis em situação limite a fim de evitar a

ocorrência de condensações superficiais. Os valores de referência – aqueles que importam a este estudo – pretendem ser um indicador de qualidade térmica minimamente satisfatória.

Para tal e tendo em vista uma avaliação objectiva dos critérios de qualidade térmica tomou-se como referência a definição de quatro níveis de qualidade térmica, proposta em [7] para a envolvente opaca, em função dos valores de referência preconizados no regulamento.

Tabela 3.5: Níveis de Qualidade Térmica [7]

Nível de Qualidade Térmica	Limites de U
N ₁	$U = U_{ref}$
N ₂	$U = 0,75 \times U_{ref}$
N ₃	$U = 0,60 \times U_{ref}$
N ₄	$U = 0,50 \times U_{ref}$

Na tabela 3.6 são indicados os valores do coeficiente de transmissão térmica dos elementos exteriores opacos horizontais em zona corrente (e que incluem os elementos interiores em situações em que $\tau > 0,7$) calculados de acordo com os níveis de qualidade anteriormente definidos e o coeficiente de transmissão térmica máximo admissível preconizados no RCCTE, em função da zona climática respectiva.

Considerou-se, para o efeito, que o nível de qualidade mais baixo – N₁ (aquele que satisfaz medianamente) – seria o correspondente aos valores de referência dos coeficientes de transmissão térmica definidos para cada zona climática.

Tabela 3.6: Coeficiente de transmissão térmica em função do nível de qualidade térmica e da zona climática.

Nível de Qualidade Térmica	Coeficientes de Transmissão Térmica U [W/(m ² .°C)]		
	I ₁	I ₂	I ₃
N ₁	0,50	0,45	0,40
N ₂	0,38	0,34	0,30
N ₃	0,30	0,27	0,24
N ₄	0,25	0,23	0,20
U _{max}	1,25	1,00	0,90

3.3 Quantificação do desempenho

O presente trabalho pretende avaliar as diferentes soluções de reabilitação térmica que o mercado da construção dispõe para as coberturas de edifícios antigos. No entanto, e seguindo esta perspectiva, o enquadramento com as actuais exigências legais no domínio da térmica é imperativo na medida em que são estas que determinam os parâmetros de cumprimento.

Assim, o procedimento de cálculo, que serviu de base para a caracterização e parametrização das soluções analisadas, é o prescrito no RCCTE [2]. A escolha deste método foi determinada pela sua necessária divulgação nos meios técnicos, sendo, para além disso, um instrumento de fácil apreensão e utilização.

O cumprimento deste regulamento é determinado através de uma metodologia padrão, pelo cálculo dos valores das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento, N_{ic} e N_{vc} , para o edifício ou fracção. Estes devem ser inferiores aos valores máximos admissíveis dos respectivos índices, N_i e N_v , que dependem da região climática em que o edifício se insere. Para além disso, as soluções construtivas adoptadas têm que satisfazer os padrões mínimos de qualidade impostos para os coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente e para o factor solar dos envidraçados com sombreamento no Verão.

Contudo, para o estudo em questão, torna-se premente analisar com mais detalhe o **comportamento térmico para a estação de Inverno**. Para o efeito foram considerados os concelhos de Lisboa, Porto e Bragança, como exemplos típicos das diferentes zonas climáticas que dividem o país, e que apresentam os seguintes dados climáticos:

Tabela 3.7: Dados climáticos de referência para a estação de aquecimento dos concelhos de Lisboa, Porto e Bragança [2].

	Lisboa	Porto	Bragança
	I_1	I_2	I_3
N.º graus-dias [°C.dias]	1190	1610	2850
Duração da estação de aquecimento (meses)	5,3	6,7	8

Este método considera as necessidades energéticas de aquecimento do edifício, como a soma de três parcelas cujos valores correspondem às perdas pela envolvente opaca e pelos envidraçados, às perdas por ventilação e pelas infiltrações de ar, e aos ganhos de calor através dos envidraçados, principalmente dos que estão orientados a Sul (no Inverno, são os únicos que recebem um valor de radiação solar significativo).

A simulação do comportamento térmico dos edifícios foi realizada com base nas folhas de cálculo apresentadas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, as quais existem formato *Excel* que, de forma automática, executam o cálculo dos consumos energéticos.

Os dados que serviram de base para a realização dos cálculos efectuados encontram-se descritos nos Anexos I e II.

CAPÍTULO 4 Conceção de Soluções Específicas para os Edifícios em Estudo

Os edifícios que serviram de exemplo para a caracterização do presente estudo correspondem a duas tipologias distintas, possíveis de encontrar na malha urbana da cidade do Porto.

4.1 Caracterização construtiva do edifício da Rua D. Manuel II



Figura 4.1: Alçados Sul e Norte.

O primeiro edifício, situado na Rua D. Manuel II, na freguesia de Miragaia, é característico de uma tipologia urbana portuense de Oitocentos com lote esguio de frente estreita, marcado pelo o acesso vertical ao centro e pontuado por uma típica clarabóia decorativa e cobertura de quatro águas.

O edifício tem previsto um projecto de reabilitação cujo programa será integralmente destinado a habitação, propondo-se a organização de 6 unidades de alojamento no edifício, sendo três de tipologia T0, duas T1 e uma T3.

O princípio de intervenção respeita a organização original, não se alterando o posicionamento estruturante da escada existente, intrinsecamente relacionada com a clarabóia tradicional – que se conservará – resultando, assim, na criação de três apartamentos-estúdios com cozinha integrada, na parte dos pavimentos voltada ao

arruamento, ultrapassando assim a questão da unidade funcional dos pisos superiores, por causa da posição do acesso vertical.

Com a reorganização e simplificação proposta para os volumes do tardoz propõe-se a sobreposição de dois fogos T1, possibilitando o usufruto do logradouro por parte das três habitações voltadas para o interior do quarteirão, e não somente como área adstrita à habitação do piso inferior.

A área bruta de construção das habitações propostas pelo projecto soma os 435,90m², correspondendo a uma implantação de 130,40 m² (sem contar com a área do saguão proposto para iluminação e ventilação natural).

Quanto à cércea, não se prevê a alteração da condição geral da altimetria do imóvel, mantendo-se o mesmo número de pisos acima da cota de soleira (4).

O edifício é caracterizado pela fachada principal (orientada a Sul) revestida a azulejos de padrão policromos, com molduras de pedra a guarnecer os vãos e varanda, também de pedra, no 2º piso com uma guarda em ferro forjado. O volume recuado é revestido a chapa metálica. A fachada voltada para o logradouro (a Norte) também apresenta alguns vãos com moldura de pedra, exceptuando o último piso.



Figuras 4.2 e 4.3: Vistas exterior e interior da cobertura.

A cobertura inclinada apresenta-se, no geral, em razoável estado de conservação tendo sido recentemente alvo de obras de manutenção e reparação ao nível do revestimento exterior.

Contudo, é possível observar que, em consequência de anteriores infiltrações de água que ocorreram devido à inexistência de manutenção ao nível do revestimento

exterior, todo o forro e os tectos dos compartimentos dos últimos pisos se encontram em elevado estado de degradação, tendo alguns, inclusivamente, cedido (Figura 4.3). É, por isso, prevista a substituição dos elementos.

Por outro lado, os pés-direitos do último piso da fachada principal e do volume recuado não permitem o aproveitamento do desvão da cobertura, pelo que o reforço do isolamento térmico deverá ser executado ao nível da esteira horizontal.

A intervenção no edifício da Rua D. Manuel II prevê a recuperação extensiva dos elementos construtivos existentes, nomeadamente as estruturas e os revestimentos de madeira dos pisos e das coberturas.

De forma a salvaguardar o revestimento cerâmico da fachada e as molduras dos vãos em pedra, foi opção executar o reforço do isolamento térmico pelo interior tomando, por sua vez, o menor espaço possível para otimizar a área útil. Apenas no último piso recuado serão executadas novas paredes de fachada duplas de alvenaria de betão leve com isolamento térmico a preencher a totalidade da caixa-de-ar, por haver uma alteração mais significativa no volume existente.

As divisórias interiores das fracções autónomas serão sobretudo leves em gesso cartonado com isolante térmico e acústico na caixa-de-ar, exceptuando nas zonas de águas (como cozinhas e instalações sanitárias) onde serão executadas em alvenaria simples de blocos de betão leve assentes sobre pavimento reforçado com chapa metálica.

Para o estudo específico das coberturas, a análise do comportamento térmico foi limitada às duas fracções autónomas previstas para os pisos superiores do edifício (indicadas na cor amarela nas figuras 4.4 e 4.5), de tipologias T0 (**Caso A**) e T3-duplex (**Caso B**), de acordo com a forma de cálculo do RCCTE.



Figura 4.4: Corte longitudinal com indicação das fracções a estudar.

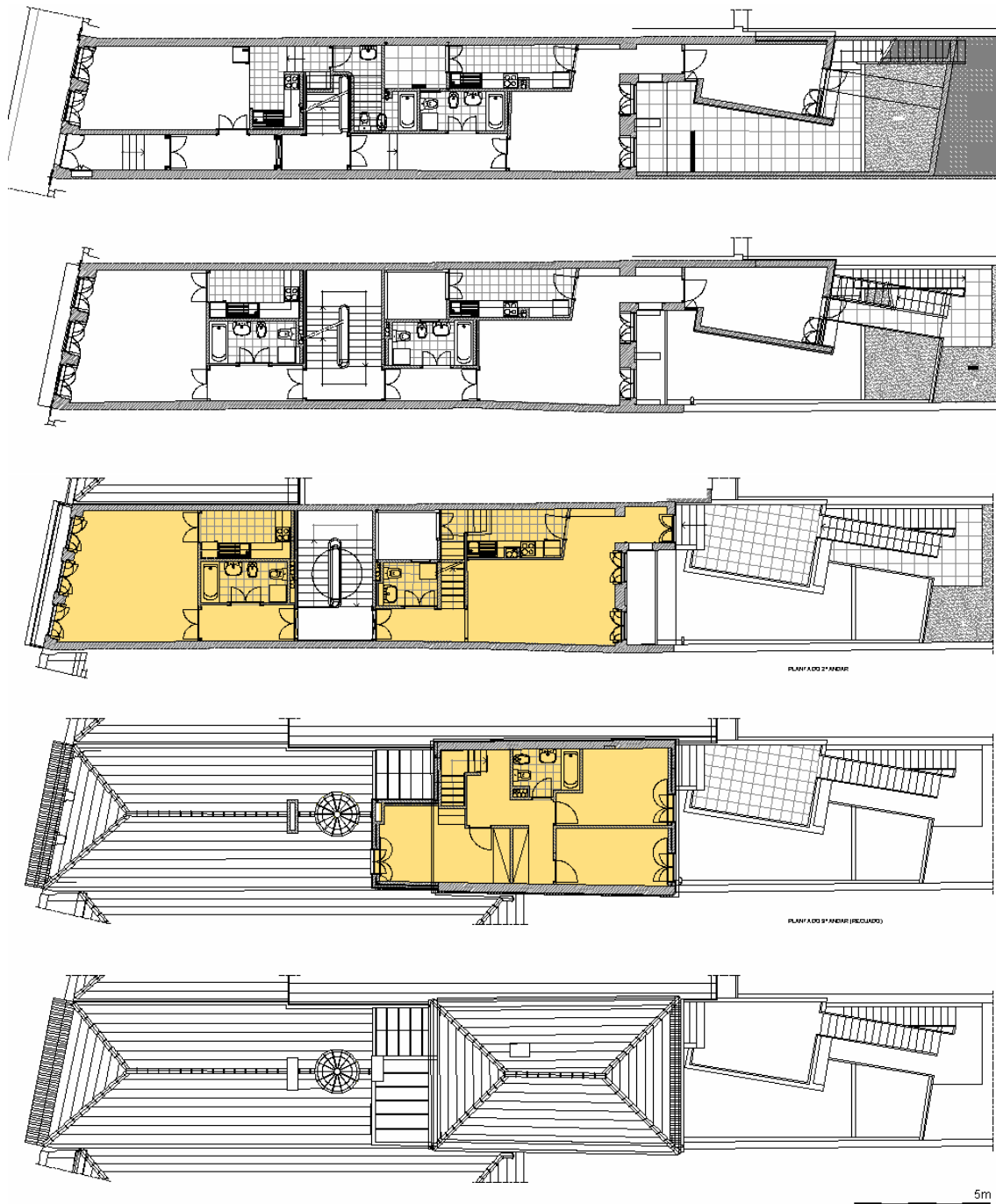


Figura 4.5: Plantas do piso de entrada, do 1º, 2º e 3º andares e de coberturas.

4.2 Caracterização construtiva do edifício da Rua de Fernandes Tomás



Figura 4.6: Alçados Norte e Sul.

O segundo edifício na Rua de Fernandes Tomás (**Caso C**) corresponde a uma tipologia de palacete burguês do século XIX, também marcado pela clarabóia decorativa na zona do acesso vertical e cobertura de quatro águas. A frente de lote é mais larga que no primeiro caso e tem pés-direitos maiores, bem como apresenta um aproveitamento das águas furtadas com desenvolvimento de uma trapeira voltada para o espaço de logradouro.

O edifício encontra-se actualmente devoluto, tendo anteriormente albergado a sede de uma associação empresarial e tendo sido, entretanto adquirido por um investidor particular. No entanto, o projecto previsto ainda se encontra numa fase muito incipiente pelo que se optou por considerar apenas o existente para efeitos do presente trabalho.

Para efeitos do cálculo das necessidades energéticas, optou-se por considerar o edifício com a função de serviço, na medida em que a tipologia abastada que caracteriza o lote não tem o enquadramento social que define actualmente a tipologia habitacional corrente. Por outro lado, esta opção permitiu introduzir diferentes parâmetros de caracterização no dito cálculo, nomeadamente na definição das exigências das águas quentes sanitárias [AQS].

Contrariamente ao caso anterior, não só o desvão da cobertura é passível de ter uma função de programa, como a estrutura de suporte apresenta uma mais-valia arquitectónica validada pela sua qualidade, desenho e dimensão.

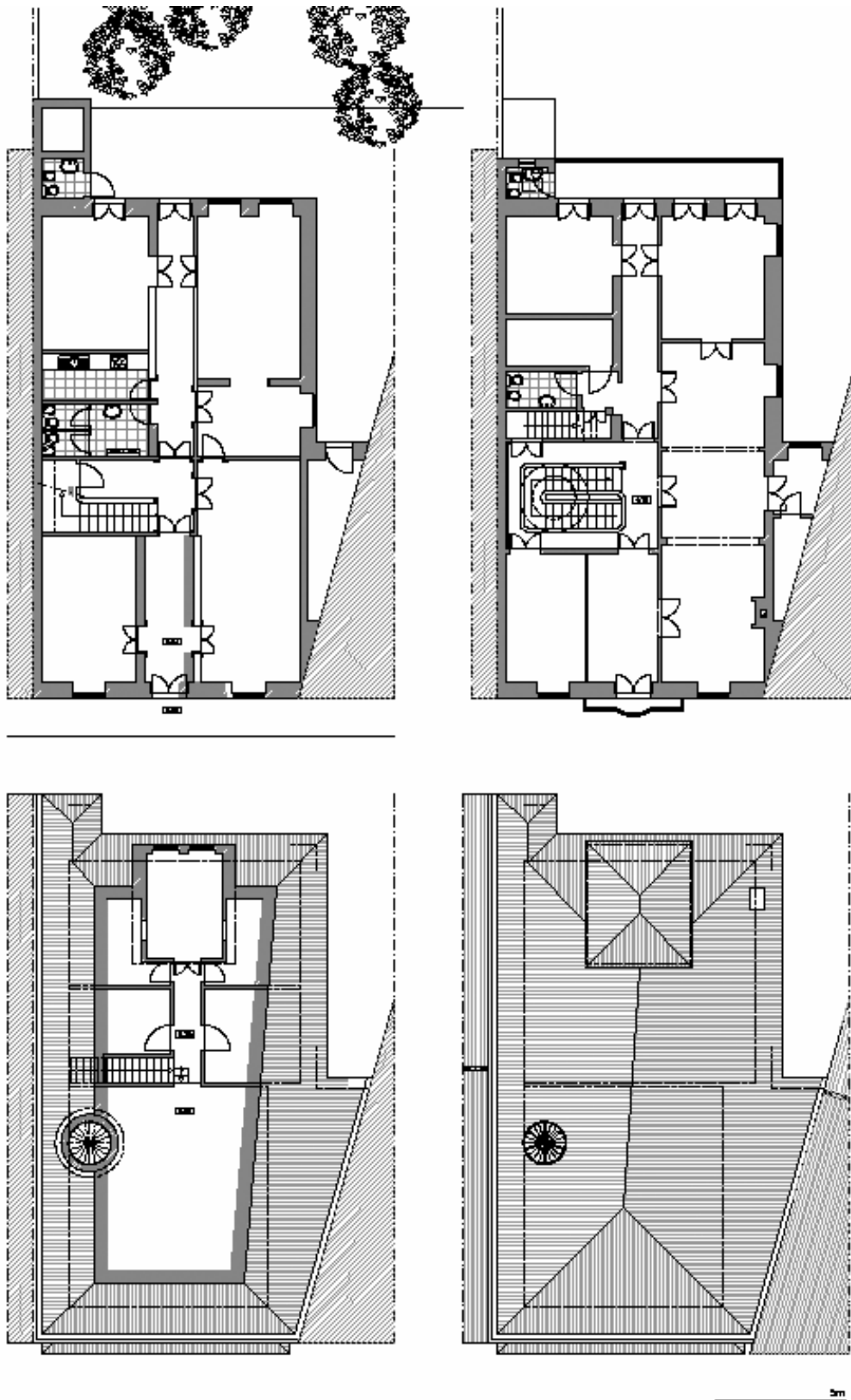


Figura 4.7: Plantas do piso de entrada, do 1º e 2º andares e de coberturas.



Figura 4.8 e 4.9: Vistas interiores do desvão da cobertura.

Por princípio de intervenção, também neste pequeno palacete foi considerada a recuperação dos elementos estruturais, com a manutenção dos sistemas construtivos tradicionais na sua maior extensão possível. E, da mesma forma, o princípio geral de reabilitação térmica se assemelha ao caso da Rua D. Manuel II.

CAPÍTULO 5 Análise Técnico-económica

5.1 Enquadramento preliminar

As obras de reabilitação inscrevem-se num universo de intervenções que englobam a reparação de anomalias, os trabalhos de beneficiação e as intervenções de manutenção. Qualquer um destes tipos de intervenção sobre o património edificado merece uma análise cuidada na estruturação dos trabalhos a empreender. Esta questão é particularmente importante, não só porque existem aspectos que pelas suas características técnicas facilmente potenciam sobre-custos, como também podem afectar negativamente o rendimento dos trabalhos.

Desde logo, a reabilitação pressupõe não só o recurso a técnicas antigas, mas também a tecnologias e materiais inovadores, qualquer das duas obrigando ao emprego de mão-de-obra especializada e qualificada, o que por si só se traduz num aumento do custo.

Por outro lado, a execução de trabalhos em edifícios existentes tem inerente os condicionalismos físicos próprios de cada local, o que pode obrigar à definição de estratégias de actuação de maior dificuldade - a título de exemplo, a inacessibilidade de veículos pesados na via urbana condicionará necessariamente o transporte dos materiais ou o uso de maquinaria pesada.

Por estes motivos torna-se pertinente esclarecer que a análise dos sistemas construtivos deve ser enquadrada duplamente nos seus aspectos técnico e económico, tendo presente que a ponderação sobre estes dois parâmetros – indissociáveis - irá traduzir-se na escolha mais adequada para cada caso de reabilitação.

Tendo em conta estes pressupostos, o presente capítulo pretende fazer uma abordagem económica que analise as vantagens técnico-económicas e de custo-benefício da reabilitação térmica de coberturas tradicionais.

Os materiais isolantes escolhidos no âmbito deste estudo pretendem representar as escolhas mais recorrentes da construção civil em Portugal. São, para além disso, materiais com diferentes capacidades de aplicação na reabilitação térmica de coberturas.

Foi a opção orientar o trabalho para a análise das lãs minerais nas variantes da manta flexível e da placa rígida (com especial enfoque na lã de rocha), da cortiça - por ser um produto natural 100% ecológico e pelo facto de haver grande produção desta matéria-prima em Portugal, e dos poliestirenos moldados (expandido e extrudido) - por se apresentarem como materiais correntes no panorama actual. Apresentam-se de seguida as definições e características principais de cada um.

5.1.1 Lã mineral (EN 13162)

Os produtos de lã de rocha – designados pela sigla MW (*Mineral Wool*) – são de origem mineral, produzidos a partir do basalto, e de estrutura fibrosa.

Apresentam-se sob a forma de aglomerados flexíveis ou placas semi-rígidas constituídas por fibras siliciosas, obtidas por centrifugação e aglutinadas com resinas sintéticas, sem revestimento ou revestidas a papel *kraft* ou alumínio na face interior.

Tem como principais características uma baixa condutibilidade térmica e uma elevada absorção acústica (especialmente nas frequências médias e agudas), sendo incombustível ao fogo, apresentando capilaridade nula, bom comportamento face à absorção de água e elevada permeabilidade ao vapor de água.

Para além disso, tem PH neutro, possuindo uma estrutura estável, imputrescível, anti-parasitas, não corrosiva e não é atacada por sais nem por ácidos. É um material não nocivo à saúde (contudo preconiza-se o uso de vestuário e luvas adequadas para o seu manuseamento e aplicação) e não resultam substâncias poluentes das matérias-primas nem dos produtos derivados.

5.1.2 Poliestireno moldado expandido (EN 13163)

Os produtos de poliestireno expandido – designados pela sigla EPS (*Expanded Poly Styrene*) – são de origem sintética e de estrutura celular.

Apresentam-se sob a forma de placas rígidas compostas por pequenos grânulos expandidos constituídos pelo polímero de estireno (derivado do produto natural, o petróleo) e pelo pentano (o agente expansivo). O processo de transformação usado é o vapor de água para expandir a matéria-prima em moldes, levando as esferas a comprimir e agregarem-se. O pentano dilata-se dentro de cada grânulo resultando em esferas compostas por 2% de matéria sólida e 98% de ar.

Esta particularidade confere ao poliestireno expandido uma densidade muito baixa o que significa um material com baixo peso específico. E ainda tem como principais características o isolamento térmico, a baixa absorção de água e insensibilidade à humidade, resistência mecânica apesar da sua leveza, resistência ao envelhecimento, inodoro e imputrescível. Contudo, é um material susceptível ao ataque de algumas substâncias como, por exemplo, a acetona e a gasolina, e não tem propriedades de isolamento acústico.

O poliestireno expandido é isento de CFC's e pode ser considerado um produto ecológico já que não contamina o solo, a água e o ar e é totalmente reciclável e reproveitável.

5.1.3 Poliestireno moldado extrudido (EN 13164)

Os produtos de poliestireno extrudido – designados pela sigla XPS (*Extruded Poly Styrene*) – são também de origem sintética e de estrutura celular.

Apresentam-se sob a forma de placas rígidas de espuma de poliestireno extrudido. O processo de extrusão produz uma estrutura rígida e uniforme de pequenas células fechadas que resulta num produto de densidade homogénea.

As placas contêm um aditivo retardante de chama de forma a evitar a ignição accidental, sendo contudo combustíveis quando expostas a fogo intenso.

Para além disso, tem como principais características as elevadas resistência mecânica (nomeadamente à compressão), a insensibilidade ao ataque de ácidos e bases. São também altamente resistentes à difusão do vapor de água, a absorção de água é muito baixa e apresentam capilaridade nula.

Os produtos XPS não contêm CFC's nem HCFC's satisfazendo as Directivas meio ambientais Europeias EC/2037/2000, acerca de substâncias que contribuem para a destruição da camada de ozono.

5.1.4 Aglomerado negro de cortiça (EN 13170)

O aglomerado negro de cortiça – designado pela sigla ICB (*Insulation Cork Board*) – é de origem vegetal e de estrutura celular.

Apresenta-se sob a forma de grânulos de cortiça expandidos por acção do vapor de água, usando as resinas naturais do sobreiro (*Quercus Robur*) como elemento agregador.

A sua proveniência de uma matéria-prima renovável, aliada à não utilização de agentes sintéticos, bem como a capacidade de reciclagem para outras utilizações, tornam este produto “amigo do ambiente” e ecológico.

Tem como principais características os isolamentos térmico, acústico e vibrático, a elevada elasticidade e capilaridade nula. É, no entanto, um material que pode sofrer o ataque de agentes biológicos (roedores).

5.2 Metodologia

A metodologia adoptada para a caracterização técnica e económica da intervenção de reabilitação térmica nas coberturas tradicionais foi a preconizada no Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios [2] tendo em vista uma quantificação precisa e legalmente enquadrada das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento - N_{ic} .

Para o efeito do estudo em questão, tomou-se em consideração o enquadramento geográfico de Portugal, destacando-se o maior consumo energético que ocorre para os meses da estação de aquecimento face aos gastos energéticos necessários para a estação de arrefecimento, sobretudo em edifícios de construção tradicional com áreas envidraçadas relativamente modestas.

E, tendo por base os níveis de qualidade térmica definidos para a **Zona Climática I₂** – aquela em que se focou o presente estudo – as tabelas 5.1 e 5.2 reflectem as

espessuras necessárias para atingir os valores estabelecidos consoante o material isolante escolhido.

De acordo com as soluções caracterizadas no ITE50 [8], optou-se por discriminar as intervenções de reabilitação com soluções de **isolamento contínuo**, a que correspondem as soluções:

- Isolamento contínuo sobre a laje de esteira **[S1]** (ver ponto 0);
- Isolamento contínuo sob a laje de esteira **[S3]** (ver ponto 5.3.4.3);
- Isolamento contínuo sobre as varas da estrutura do telhado **[S4]** (ver ponto 5.3.4.4);
- Isolamento contínuo sob as varas da estrutura do telhado **[S5]** (ver ponto 5.3.4.5).

E, da mesma forma, as soluções de **isolamento descontínuo**:

- Isolamento descontínuo sobre a laje de esteira **[S2]** (ver ponto 5.3.4.2);
- Isolamento descontínuo entre as varas da estrutura do telhado **[S6]** (ver ponto 5.3.4.6).

O facto de se considerar a aplicação contínua ou descontínua dos isolantes é relevante para o presente estudo porque tem inerente a variação de espessura para atingir um mesmo coeficiente de transmissão térmica - U.

Esta diferenciação tem consequências quer ao nível técnico (variação do peso, adaptação construtiva, etc.) quer ao nível económico (variação dos custos, do período de retorno, etc.) que merecem ser analisadas.

Tabela 5.1: Espessura dos Isolantes Térmicos e respectivos coeficientes U, em função do nível de qualidade térmica para soluções construtivas com isolamento contínuo.

Nível de Qualidade	SOLUÇÕES DE ISOLAMENTO CONTÍNUO					
	XPS		EPS / MW (Placa)		ICB / MW (Manta)	
	Esp.	U	Esp.	U	Esp.	U
	[mm]	[W/m ² .°C]	[mm]	[W/m ² .°C]	[mm]	[W/m ² .°C]
N₁	80	0,44	80	0,47	100	0,43
N₂	100	0,37	100	0,39	120	0,35
N₃	130	0,27	140	0,27	150	0,28
N₄	150	0,23	160	0,24	180	0,24

Tabela 5.2: Espessura dos Isolantes Térmicos e respectivos coeficientes U, em função do nível de qualidade térmica para soluções construtivas com isolamento descontínuo.

Nível de Qualidade	SOLUÇÕES DE ISOLAMENTO DESCONTÍNUO					
	XPS		EPS / MW (Placa)		ICB / MW (Manta)	
	Esp. [mm]	U [W/m ² .°C]	Esp. [mm]	U [W/m ² .°C]	Esp. [mm]	U [W/m ² .°C]
N₁	100	0,44	100	0,46	100	0,50
N₂	120	0,35	120	0,37	140	0,34
N₃	150	0,28	150	0,29	180	0,26
N₄	170	0,24	180	0,24	200	0,24

De acordo com as informações disponibilizadas pelos fabricantes, as espessuras de valor superior apresentadas nas tabelas (essencialmente a partir dos 120mm) resultam de sobreposições de mais do que uma placa do material isolante, de forma a atingir o coeficiente de transmissão térmica adequado ao nível de qualidade.

No entanto, para determinados isolantes térmicos, concretamente a lã de rocha (em manta), não existindo a comercialização de algumas espessuras que serviriam para atingir o referido coeficiente, optou-se por usar a espessura imediatamente acima ou abaixo, sempre tentando aproximá-lo dos valores de referência constantes na tabela 3.6.

Como já foi anteriormente referido no ponto 3.2.3.3, tomou-se o valor de referência do coeficiente de transmissão térmica constante do RCCTE como o nível de qualidade térmica mais baixo (N₁). Por este motivo, chegou-se assim a valores de espessuras que partem dos 80mm e variam até aos 200mm, conforme o isolante pretendido e a solução construtiva.

Os valores pouco usuais a que se chegou, particularmente para o nível de qualidade térmica mais exigente, e que chega a atingir os 200mm de espessura, representam contudo um incremento da resistência térmica duas vezes superior face a N₁.

Na tabela que se segue, apresenta-se o resumo das características técnicas dos materiais seleccionados para análise, retiradas das fichas técnicas fornecidas pelos fabricantes que actuam no mercado nacional.

Tabela 5.3: Caracterização técnica dos isolantes térmicos.

Isolamento Térmico				MW		ICB	EPS	XPS
				Manta	Painel			
Condutibilidade térmica	[W/m.°C]	ITE50	0,045	0,040	0,045	0,040	0,035	
Condutibilidade térmica declarada	[W/m.°C]	EN 12667	0,038	0,035	0,045	0,038	0,036	
Densidade nominal	[Kg/m ³]	EN 1602	25 - 30	70	105 - 125	15	30 - 33	
S	Estabilidade dimensional	%	EN 1604	0	< 0,1	0	< 2	
L	Resistência à compressão	[kPa]	EN 826			20	60	> 300
E	Resistência à difusão do vapor	[μ]	EN 12086	1,3	1,3	5 - 30	20 - 40	100 - 200
	Resistência ao fogo	Euroclasse	EN 13501-1	A1	A1	E	E	E
	Capilaridade			Nula	Nula	Nula	Nula	Nula
	Ecologia			uso de resinas sintéticas	uso de resinas sintéticas	100% natural	sem CFC's	sem CFC's

Finalmente, apresenta-se o resumo das exigências ISOLE que os materiais de isolamento térmico devem cumprir para cada solução de reabilitação térmica:

Tabela 5.4: Exigências ISOLE das soluções de reabilitação térmica.

Solução	I	S	O	L	E
S1					
S2	1	1	1	1	1
S3					
S4	3	1	2	2	1
S5	1	1	1	1	1
S6					

5.3 Caracterização Técnica

5.3.1 Considerações Prévias

A reabilitação térmica de coberturas de edifícios antigos, inserida no âmbito dos trabalhos de beneficiação, deve ser enquadrada num programa de intervenção mais

alargado que pressupõe a reabilitação integral da envolvente – das diversas partes que compõem a estrutura de suporte, das paredes resistentes, etc.

Contudo, o presente trabalho pretende apenas destacar a componente térmica, tomando como garantida a qualidade e a fiabilidade estrutural do edificado, pelo que a análise foi restrita aos trabalhos de execução para cada solução de melhoria do comportamento térmico.

Como em qualquer outro elemento construtivo, mas com especial relevo para a cobertura inclinada – pelos vários motivos que têm vindo a ser referidos, o rigor na concepção e o cuidado na execução são pontos-chave para garantir o bom funcionamento do sistema.

Para mais, as intervenções de reabilitação pressupõem um nível de qualificação mais elevado e exigente de mão-de-obra para assegurar o desempenho e a durabilidade das soluções.

Além disso, deve ser sempre assegurada uma manutenção regular que, como medida preventiva, deve ser efectuada pelo menos uma vez por ano – antes de cada Inverno.

A vistoria deve incluir *à priori* a verificação de todos os elementos que compõem o sistema e suas ligações, mas também a limpeza de eventuais vestígios de sujidades que se acumulam nas caleiras e nas embocaduras de tubos de queda.

5.3.2 Caracterização técnica dos isolantes térmicos

Existem **prescrições técnicas** elaboradas por entidades credenciadas que pretendem normalizar os procedimentos a levar a cabo e os cuidados a ter na aplicação em obra dos isolantes térmicos e dos vários elementos construtivos a eles associados e que têm a finalidade última de zelar pela boa qualidade / durabilidade na construção.

Apesar de não se tratarem de organizações nacionais, as suas recomendações adequam-se ao tipo construtivo português. Relativamente aos materiais utilizados para o isolamento térmico ao nível da laje de esteira estes deverão ser enquadrados pelos pareceres técnicos (*Avis Technique*) e documentos técnicos de aplicação (*Document Technique d'Application*) elaborados pela entidade francesa CSTB.

As condições técnicas de aplicação da lã mineral estão resumidas no documento geral *e-Cahier CPT 3560* [17] da mesma entidade e dizem respeito aos métodos de aplicação em obras de isolamento térmico em desvãos de coberturas, pelo que se deverão respeitar as prescrições deste parecer técnico.

Para além disso, o documento *CPT 3674* é relativo à correcta aplicação em obra dos métodos e produtos de isolamento térmico ao nível da laje de esteira

Para uma avaliação construtiva rigorosa das soluções seleccionadas é importante comparar as soluções de um ponto de vista da sobrecarga sobre os elementos construtivos existentes (kg/m^2 por cada solução), da facilidade de execução (nomeadamente quanto ao tipo de maquinaria necessária em obra, às exigências funcionais do estaleiro, etc.).

As tabelas seguintes comparam, de acordo com a densidade dos materiais, para as soluções de isolamento térmico contínuo e descontínuo, o **peso por metro quadrado** de cada isolante térmico adequado para cada nível de qualidade térmica definidos nas tabelas 5.1 e 5.2.

Tabela 5.5: Peso do Isolamento Térmico contínuo por metro quadrado, em função do Nível de Qualidade Térmica.

Nível de Qualidade	SOLUÇÕES DE ISOLAMENTO CONTÍNUO									
	XPS		EPS		MW Placa		ICB		MW Manta	
	[mm]	[kg/m ²]	[mm]	[kg/m ²]	[mm]	[kg/m ²]	[mm]	[kg/m ²]	[mm]	[kg/m ²]
N₁	80	2,52	80	1,20	80	5,60	100	11,50	100	2,75
N₂	100	3,15	100	1,50	100	7,00	120	13,80	120	3,30
N₃	130	4,09 ⁵	140	2,10	140	9,80	160	18,40	160	4,40
N₄	150	4,72 ⁵	160	2,40	160	11,20	180	20,70	180	4,95

Tabela 5.6: Peso do Isolamento Térmico descontínuo por metro quadrado, em função do Nível de Qualidade Térmica.

Nível de Qualidade	SOLUÇÕES DE ISOLAMENTO DESCONTÍNUO									
	XPS		EPS		MW Placa		ICB		MW Manta	
	[mm]	[kg/m ²]	[mm]	[kg/m ²]	[mm]	[kg/m ²]	[mm]	[kg/m ²]	[mm]	[kg/m ²]
N₁	100	3,15	100	1,50	100	7,00	100	11,50	100	2,75
N₂	120	3,78	120	1,80	120	8,40	140	16,10	140	3,85
N₃	150	4,72 ⁵	150	2,25	150	10,50	180	20,70	180	4,95
N₄	170	5,35 ⁵	180	2,70	180	12,60	200	23,00	200	5,50

A diferenciação entre as soluções de isolamento térmico contínuo e descontínuo é um factor importante porque para um mesmo nível de qualidade térmica pretendido, a espessura – e consequentemente o peso – aumentará do primeiro para o segundo tipo de solução.

Numa forma geral, é possível concluir que o isolante mais leve é o poliestireno expandido (EPS). Depois, com cerca do dobro do peso, encontram-se a lã de rocha em manta (MW) e o poliestireno extrudido (XPS). A lã de rocha em placa (MW) pesa cerca de 4 vezes mais que o primeiro e o aglomerado negro de cortiça apresenta valores dez vezes superior ao mais leve.

Apesar de uma das características gerais dos isolantes térmicos ser a sua leveza, por comparação com outros elementos construtivos, as tabelas 5.5 e 5.6 revelam, contudo, valores muito distintos que resultam das diferentes densidades nominais dos isolantes seleccionados para análise.

E tratando-se de edifícios de construção tradicional – paredes resistentes de alvenaria de pedra, paredes interiores de tabique ou outra estrutura leve, cobertura com estrutura de madeira e revestimento descontínuo – a escolha do isolante deve ter em consideração o impacto que o aumento de carga pode introduzir, seja na estrutura da cobertura, seja na estrutura de suporte do tecto.

De facto, o tecto pode revelar-se o ponto mais crítico, se este for leve e ficar sujeito a um acréscimo de carga. Para além disso, o factor peso também deve ser tido em conta particularmente quanto maior for a área a isolar.

Quanto ao grau de exigência da **exequibilidade das soluções** de reabilitação térmica, há a destacar alguns factores de segurança que se prendem com o facto da intervenção ocorrer ao nível da cobertura, e em que são exigidas medidas de protecção suplementares para a execução dos trabalhos. Especialmente para as soluções que obrigam a trabalhos pelo exterior do edifício, como é o caso da solução S4, é necessário prever meios de protecção individual (calçado antiderrapante, arnês de segurança, capacete de protecção) e colectiva (guarda-corpos, redes de segurança). Além disso, a execução pelo exterior do edifício obriga a um planeamento de obra mais cuidado especialmente no que se refere à elevação dos materiais e à sua colocação.

Já o **transporte, armazenamento e manuseamento** dos materiais têm exigências muito semelhantes entre si, pelo que neste ponto não haverá grande diferenciação entre eles, salvo a lã de rocha que obriga ao uso de vestuário adequado.

Para além disso, a implementação do **estaleiro da obra** deverá ser a uma escala adequada que possa funcionar no espaço privado da fracção, protegido das intempéries e, dado o tipo de intervenção previsto, não se afigura necessário o recurso a maquinaria pesada.

Por outro lado, não se prevê que, para a execução dos trabalhos de reabilitação térmica ao nível da cobertura, hajam sérios **condicionantes físicos** que ponham em causa a sua execução. Contudo, como cada caso é um caso, admite-se que em situações de núcleos urbanos densos, ou de um qualquer outro condicionamento físico, haja necessidade de um maior recurso da mão-de-obra para suprir os obstáculos (p.

ex. pela impossibilidade de instalar uma grua para o transporte vertical dos materiais em obra, ou simplesmente pela inacessibilidade viária ao local da obra).

5.3.3 Comparação Construtiva dos edifícios em estudo

A comparação dos edifícios em estudo, e concretamente do elemento construtivo em análise – a cobertura, aponta para circunstâncias construtivas diferentes, que derivam de factores diversificados tais como as diferentes épocas construtivas, a nobreza e capacidade resistente dos materiais usados, a dimensão do vão de cobertura a vencer e o uso do desvão da cobertura.

Ao nível da esteira horizontal, em ambos os casos é possível verificar que existe tarugamento para fixação do revestimento de tecto – tecto estucado.

Contudo, no caso da Rua D. Manuel II, não sendo previsto o uso do desvão da cobertura – por falta de pé-direito, a estrutura que compõe a laje de esteira é reduzida ao mínimo necessário para a fixação do tecto e travamento das paredes resistentes.

Já no caso do edifício da Rua Fernandes Tomás, a estrutura da laje de esteira tem as características de um piso habitável, composto por vigas que descarregam nas paredes resistentes, tarugamento e revestimento de piso em soalho.

Ao nível das vertentes, no edifício da Rua D. Manuel II, tratando-se de um prédio com uma frente urbana tipicamente portuense (cerca de 6 metros), a composição estrutural das vertentes é mais simples do que no caso anterior e apresenta forro sob o assentamento do revestimento descontínuo do telhado.

Por seu turno, no edifício da Rua Fernandes Tomás a estrutura principal de suporte da cobertura é executada com toros de madeira, toscos mas de secção resistente adequada ao vão. E tratando-se de um espaço habitável, as faces das vertentes incorporam o acabamento.

Tabela 5.7: Dados paramétricos dos casos em estudo.

Caso em Estudo	A [m ²]		V [m ³]
	Laje de esteira	Vertentes	
A	39.55	46.55	118.65
B	87.75	59.40	236.93
C	196	242.30	1639.29

Após a discriminação destas características é possível balizar os princípios de intervenção adequados a cada caso em estudo.

Assim, o estudo económico (desenvolvido no ponto 5.4) para cada caso em estudo foi focalizado da seguinte forma:

- Caso A** Soluções de intervenção ao nível da esteira horizontal
Caso B Soluções de intervenção ao nível da esteira horizontal
Caso C Soluções de intervenção ao nível das vertentes

5.3.4 Caracterização dos sistemas construtivos

A caracterização dos sistemas construtivos é acompanhada de elementos gráficos que definem o princípio subjacente a cada um deles. Contudo, tratam-se de pormenores gerais definidos a partir de um esquema preliminar, o qual foi estabelecido como exemplo tipificado do sistema construtivo tradicional em questão.

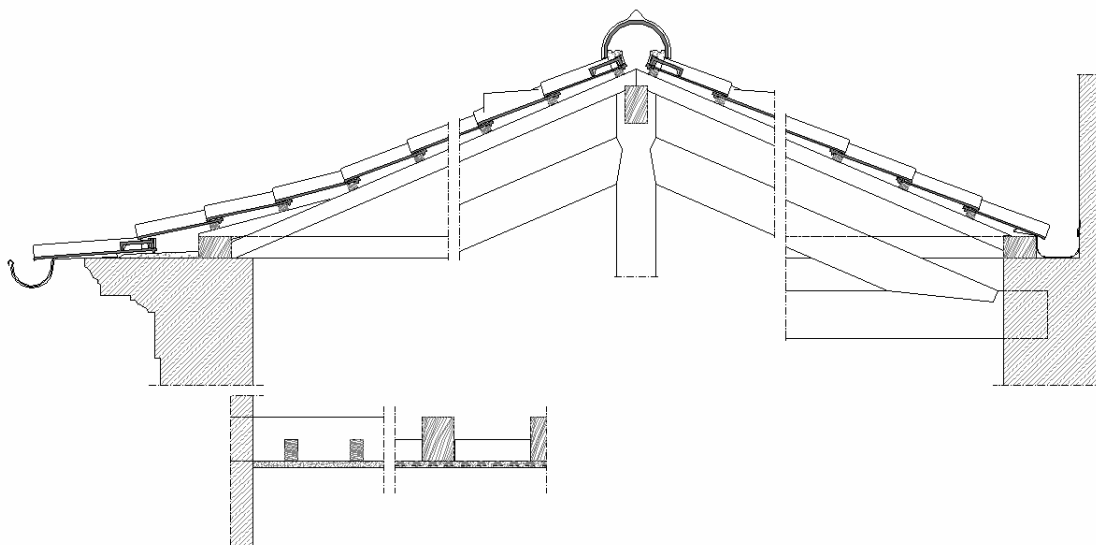


Figura 5.1: Elementos gráficos tipificados do sistema construtivo tradicional que serviram de base para a execução dos pormenores construtivos.

O desenvolvimento dessa pormenorização para as várias soluções de reabilitação térmica, seguidamente especificadas, considerou, por princípio, a inclusão de barreira pára-vapor na face inferior do isolamento térmico.

Contudo, numa situação real, esta opção deverá ser avaliada em método próprio e de acordo com as especificidades de utilização de modo a aferir a sua relevância para a prevenção de ocorrência de condensações internas.

Tomou-se também como princípio para a elaboração dos pormenores construtivos dos sistemas em análise a inclusão do isolamento térmico previsto no cálculo do RCCTE ao nível dos paramentos verticais, discriminado em legenda com o n.º 4.

De forma a dotar os desenhos de maior legibilidade, dado o suporte de apresentação se limitar ao formato A4, entendeu-se reduzir a informação gráfica ao mínimo possível salvaguardando, contudo, a interpretação construtiva. Daí resultou a indicação dos materiais caracterizados em legenda separada que, a seguir se elenca.

Tabela 5.8: Legenda geral dos pormenores construtivos.

- 1 Tecto estucado existente
- 2 Tarugamento
- 3 Viga
- 4 Isolamento térmico c/ barreira pára-vapor + acabamento
- 5 Barreira pára-vapor
- 6 Isolamento térmico em placa
- 7 Isolamento térmico em manta
- 8 Protecção mecânica
- 9 Fita adesiva para selar juntas
- 10 Pendural
- 11 Perna
- 12 Linha
- 13 Fileira
- 14 Vara
- 15 Ripa
- 16 Contra-ripa
- 17 Contrafeito da sanca
- 18 Telha cerâmica (aba e canudo)
- 19 Telha passadeira / de ventilação
- 20 Telhão de cumeeira
- 21 Tamanco
- 22 Capa e bica (beirado)
- 23 Caleira
- 24 Forro / Acabamento (gesso cartonado, painel de madeira ou derivados)
- 25 Régua / calço de fixação do acabamento de tecto
- 26 Algeroz

5.3.4.1 Isolamento térmico contínuo sobre a laje de esteira [S1]

O princípio que rege este sistema é baseado na aplicação directa do isolante térmico sobre o vigeamento de suporte do tecto (ou pavimento, quando existente) do último piso.

Esta solução tem a vantagem de permitir a manutenção do tecto existente, caso mereça ser preservado quando se trate, por exemplo, de um tecto estucado de valor patrimonial.

Para além disso, a colocação na face superior da laje aumenta o aproveitamento da inércia do tecto, contribuindo de forma positiva para o atraso e amortecimento da onda de calor no Verão e, também no Inverno, para a estabilidade da temperatura interior.

As soluções mais comuns para este processo construtivo consistem na:

- Colocação de mantas flexíveis de materiais isolantes sobre o tecto do último piso – mantas de lãs de vidro, de rocha ou de fibras de vidro (Fig.5.2);
- Colocação de placas isolantes sobre o tecto do último piso – placas de poliestireno extrudido ou expandido, aglomerado negro de cortiça, lã mineral (Fig. 5.3).

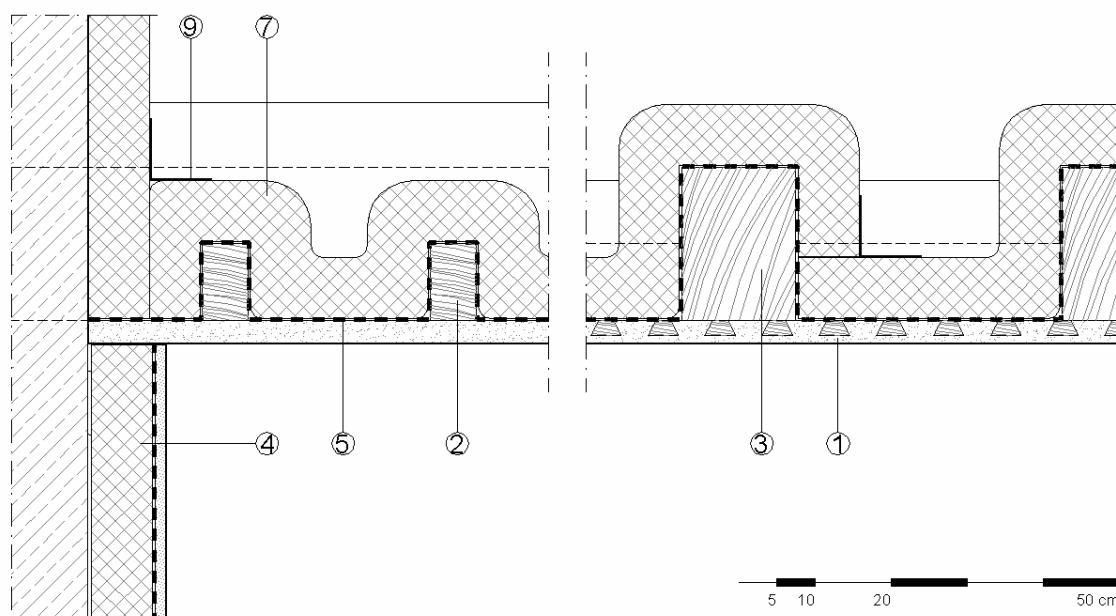


Figura 5.2: Solução de Isolamento térmico contínuo sobre a laje de esteira, com aplicação de manta.

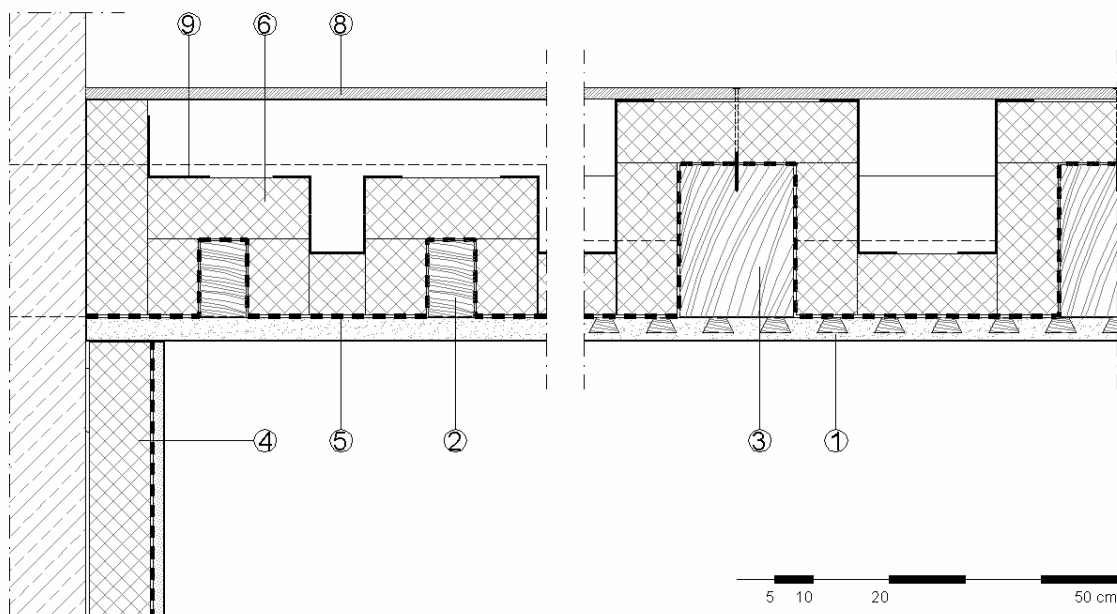


Figura 5.3: Solução de Isolamento térmico contínuo sobre a laje de esteira, com aplicação de placa.

No geral, trata-se de um sistema de fácil e rápida execução, no entanto, por estar exposto ao ar acaba por ficar sujeito à acumulação de lixo e à deterioração dos materiais se o sistema da cobertura não estiver a funcionar correctamente.

Por outro lado, se não forem garantidas boas condições de ventilação, existe a grande probabilidade de ocorrerem condensações, pondo em risco o desempenho do reforço térmico, sendo aconselhável a inclusão de uma barreira pára-vapor na face inferior do isolante térmico.

Os isolantes em forma de manta são os materiais que melhor se adequam a este tipo de solução pela sua flexibilidade e fácil modelação às superfícies irregulares de uma laje de esteira tradicional (com as vigas e os tarugos para suporte e fixação do tecto).

No entanto, e independentemente da utilização esporádica que possa ocorrer no desvão, pode ser importante proteger mecanicamente o isolante, pelo menos em parte da área, de forma a garantir a circulação pontual de pessoas.

Para isso, é fundamental garantir que a densidade do material seja a adequada para que não haja redução significativa da espessura do isolante (de acordo com [17] uma compressão pontual de 25% é tolerável, desde que não provoque a diminuição da lâmina de ar entre o isolante e a face inferior do revestimento superior) nem o seu deslocamento. E, neste caso, para a execução do recobrimento das vigas do pavimento será mais eficaz a aplicação de placas, sobre as quais deverá ser aplicada uma fita de alumínio que actua como tapa juntas e garante a estabilidade do sistema. É também possível fixar as placas através de cola, tendo o devido cuidado

de seleccionar uma que seja quimicamente compatível com o material de isolamento térmico (especialmente os poliestirenos).

E, em qualquer das situações – placa ou manta - quando a espessura do material isolante for compósita (ou seja, composta por mais do que uma camada) será interessante executar uma aplicação cruzada para garantir o recobrimento total da superfície a isolar e atenuar as possíveis perdas térmicas que possam ocorrer através das juntas. Neste caso, a segunda camada de isolante não deverá incorporar uma barreira pára-vapor, ou no caso de existir, esta deverá ser perfurada.

No entanto, existem alguns cuidados de execução a observar nomeadamente quanto à colocação do isolante. Este deve ser aplicado de modo a que, sob ele próprio, não circule ar em quantidades significativas originadas pela deficiente justaposição do material.

5.3.4.2 Isolamento térmico descontínuo sobre a laje de esteira [S2]

Existe, contudo, uma variante à solução anterior, S1, que resulta da aplicação do isolante térmico entre os espaços intersticiais dos vigamentos que suportam o revestimento do tecto. No entanto, este sistema não consegue garantir a continuidade do isolamento.

De uma forma geral, existem as seguintes variantes, geralmente executadas com os seguintes materiais:

- Colocação de materiais a granel sobre o tecto do último piso – granulados de poliestireno, cortiça, vermiculite;
- Colocação de placas isolantes sobre o tecto do último piso – placas de poliestireno extrudido ou expandido, aglomerado negro de cortiça, lã mineral.

É também uma variante de fácil e rápida aplicação e pode permitir a circulação condicionada no desvão se levar um revestimento de piso sobre a estrutura.

No geral, a sua forma de execução é muito semelhante ao sistema anterior, sendo que existe ainda a possibilidade de aplicar granulado por espalhamento. Este material não garante, contudo, uma uniformidade da espessura.

As principais desvantagens deste sistema residem, por um lado, na necessidade de aumento da espessura dos materiais isolantes (com o conseqüente aumento do peso) para atingir um coeficiente de transmissão térmica semelhante ao da solução contínua, e por outro, por não proteger a estrutura contra as variações térmicas de origem climática.

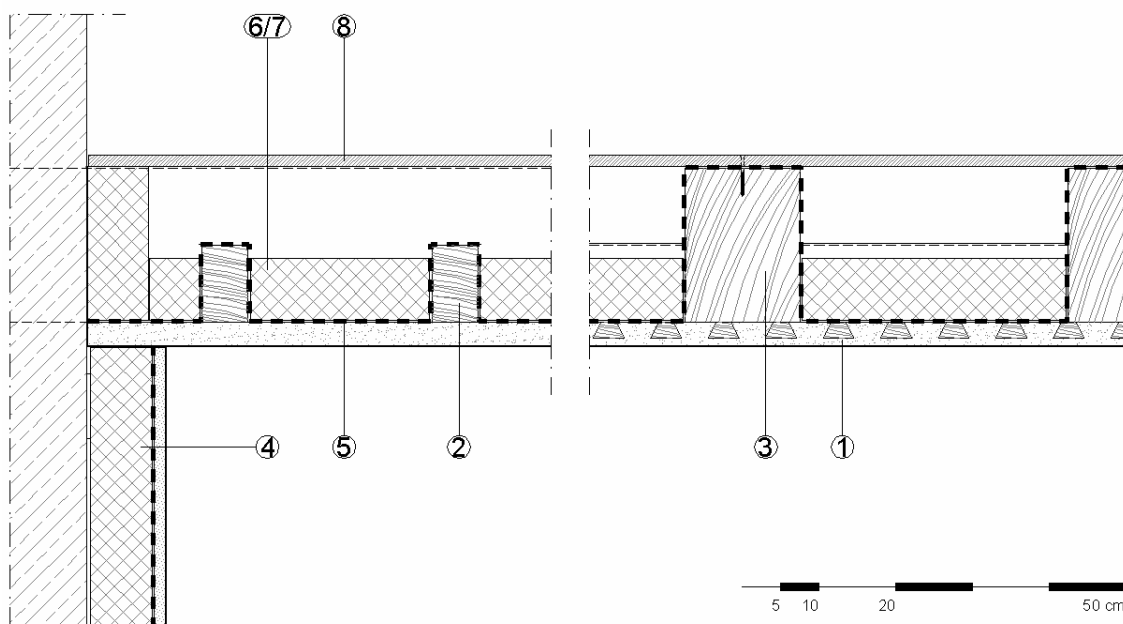


Figura 5.4: Solução de Isolamento térmico descontínuo sobre a laje de esteira.

5.3.4.3 Isolamento térmico sob a laje de esteira [S3]

Este sistema caracteriza-se pela aplicação de um tecto suspenso novo (geralmente de gesso cartonado), com acréscimo de componente térmica em mantas ou placas, fixado mecanicamente a uma estrutura metálica que, por sua vez, se fixa à estrutura de vigamento do tecto.

Para este tipo de solução podem-se considerar as seguintes variantes:

- Colocação de mantas flexíveis de materiais isolantes sobre o tecto falso – mantas de lãs de vidro ou de rocha;
- Colocação de revestimento isolante sobre o tecto falso – placas de poliestireno extrudido ou expandido.

No mercado existem ainda materiais compósitos que associam um painel de acabamento (de gesso cartonado ou aglomerado de madeira) com o material isolante (geralmente em placas de poliestireno), e que podem ser fixados mecanicamente ou colados. No entanto, as espessuras disponíveis do núcleo isolante para estes materiais (5cm) não se enquadram nos níveis de qualidade estabelecidos no presente trabalho.

Em todo o caso, as soluções de isolamento térmico aplicado sob a esteira são menos aconselháveis que as anteriores.

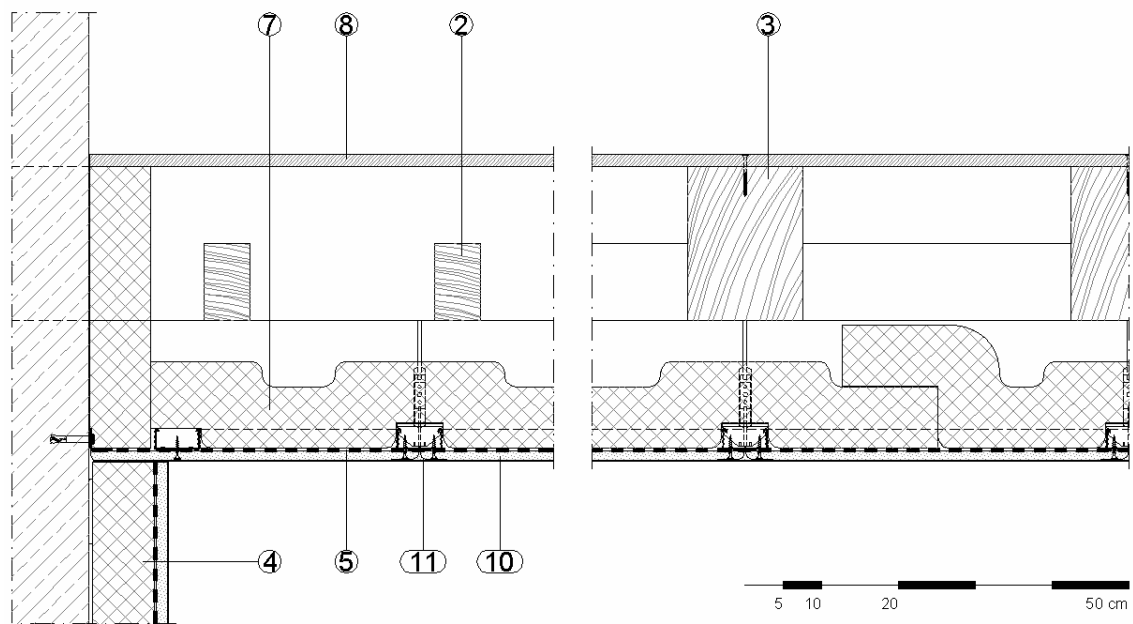


Figura 5.5: Solução de Isolamento térmico contínuo sob a laje de esteira.

Apesar de terem uma aplicação contínua, não protegem a estrutura contra as variações térmicas de origem climática e favorecem as condensações internas à semelhança da solução anterior [9] [14]. Para colmatar esta desvantagem, os painéis deverão eventualmente incorporar barreiras de vapor, prevenindo os efeitos nefastos do fenómeno das condensações.

No entanto, a aplicação de um tecto falso suspenso introduz a questão da perda de pé-direito do piso imediatamente abaixo e a anulação da eventual sanca decorativa de tecto da solução original. Para a definição da cota do tecto dever-se-á contabilizar não só a espessura do revestimento de acabamento como também a do isolante térmico.

E, para além do mais, o facto do sistema estar imediatamente dependente da estrutura de suporte do tecto levará a um cuidado acrescido na avaliação das densidades nominais de cada isolante, com influência directa no aumento de carga sobre os elementos preexistentes.

5.3.4.4 Isolamento térmico sobre as varas da estrutura do telhado [S4]

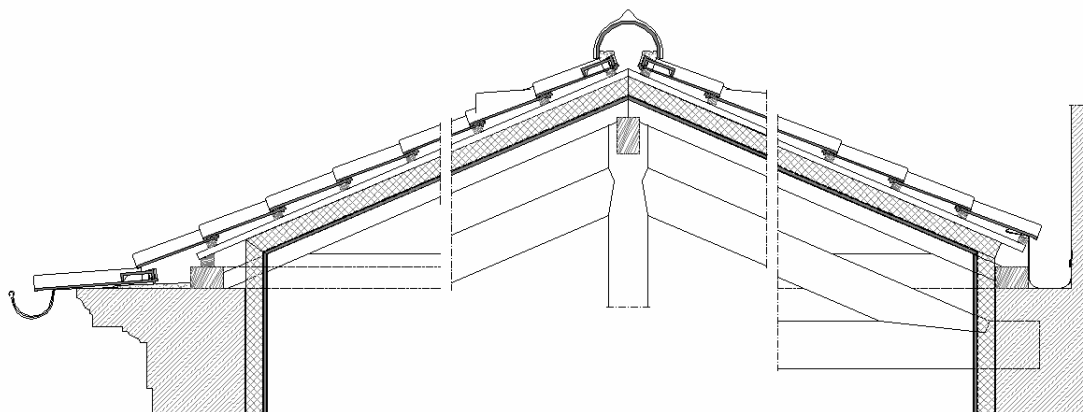


Figura 5.6: Solução de Isolamento térmico contínuo sobre as varas da estrutura do telhado.

Esta variante prevê a desmontagem integral do revestimento da cobertura para a aplicação do sistema de isolamento térmico. É uma solução que garante a continuidade do isolamento térmico e permite manter à vista o desenho estrutural interior da cobertura. Para além disso, tem as vantagens associadas de tirar partido da inércia térmica da estrutura e protege-la das variações de temperatura.

É uma solução construtiva a considerar se houver necessidade de intervir no exterior da cobertura ou se a manutenção do pé-direito existente for uma premissa fundamental.

O princípio aplicado pode ser executado por partes, ou seja, por camadas, sendo particularmente adequado quando existe um forro de madeira (ou guarda-pó) a manter e que servirá de suporte para a barreira pára-vapor e o conseqüente isolante térmico.

A colocação do isolante de forma contínua introduz a necessidade de fixação de ripado sobre o isolante para o assentamento do revestimento exterior, requerendo particulares precauções face à reduzida resistência das placas, e especialmente das mantas, à flexão, entre os apoios [3]. É, por isso, fundamental que para dotar o sistema de maior resistência mecânica exista um suporte adequado (o forro ou guarda-pó) sobre o qual assentará o isolante.

Para que se verifique a micro-ventilação (tão necessária para a salutar manutenção dos materiais), o ripado deve ser interrompido 2 a 3cm em cada 3 a 4m para permitir a circulação do ar. No entanto, a utilização de ripas completamente separadas da camada isolante, através de contra-ripas, é a solução com melhor desempenho global, salvaguardando-se a necessidade de aplicar madeira com uma adequada resistência às variações de humidade e temperatura, e tratada com agente inibidor do ataque biológico.

É, contudo, possível executar ripas de argamassa sobre o isolante desde que exista uma interrupção periódica das ripas e com a utilização de placas de isolantes com sulcos na face superior para permitir o aumento da ventilação. Neste caso, será mais adequada a aplicação do poliestireno extrudido (XPS) de face exterior nervurada.

No entanto, o fenómeno conjugado da acção da água e do vento pode provocar movimentos ascendentes da água nos telhados, pondo em causa a sua estanquidade. Por este motivo, a aplicação da subtelha torna-se imprescindível quando a cobertura apresenta uma inclinação deficiente (determinada em função das condições de exposição – ver [3]).

Mas, para além desta subestrutura garantir a completa estanquidade da cobertura à água da chuva, é comum associar-se este elemento ao desempenho de outras funções em simultâneo, tentando desta forma obter um alto rendimento da solução. Entre elas estão a capacidade inerente de servir de suporte e fixação do revestimento de cobertura, de transmitir a sua carga à estrutura, de criar zonas de ventilação abaixo do revestimento, e/ou de servir de travamento e simplificação da estrutura.

Do ponto de vista da geometria da cobertura, esta solução vai originar a subida da cota da linha de cumeeira, e do telhado em geral, tendo como consequência directa a anulação do efeito de suavização da água do telhado na zona do beirado através da eliminação do contrafeito da sanca.

A título de curiosidade regista-se que a procura de mercado levou ao desenvolvimento de diversas soluções compósitas que agregam várias funções em simultâneo (varas, forro interior e isolamento térmico). São soluções que apostam numa maior rapidez de execução, reduzindo o custo com a mão-de-obra e o tempo de execução, com a nítida vantagem de não introduzir uma sobrecarga na estrutura.

O sistema mais vulgarmente utilizado para a reabilitação de coberturas é composto por um painel sanduíche que agrega, então, as funções de suporte, isolamento e acabamento. Na generalidade dos produtos disponíveis, o painel é composto por aglomerado hidrófugo na face exterior, poliestireno extrudido no núcleo isolante, e acabamentos variados na face interior (painéis de partículas de madeira e cimento ou de OSB, gesso cartonado, aglomerado hidrófugo, MDF folheado, forro de madeira maciça, etc.).

Contudo, esta solução compósita não se inclui nas opções construtivas a analisar, dado que o presente trabalho pretende avaliar o comportamento dos materiais isolantes *per si* e, para além disso, as espessuras correntes do isolamento não excedem os 80mm.

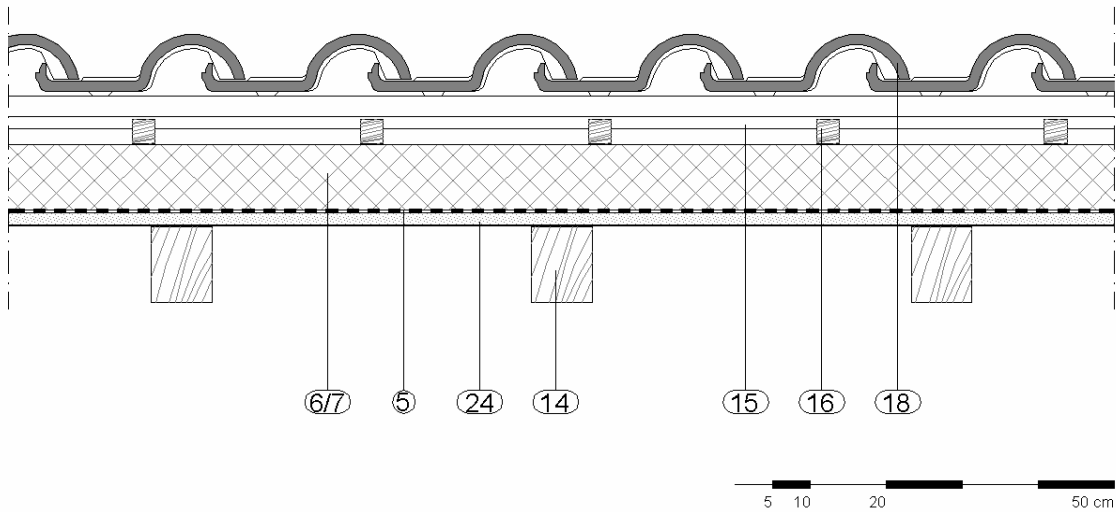


Figura 5.7: S4 – Pormenor transversal.

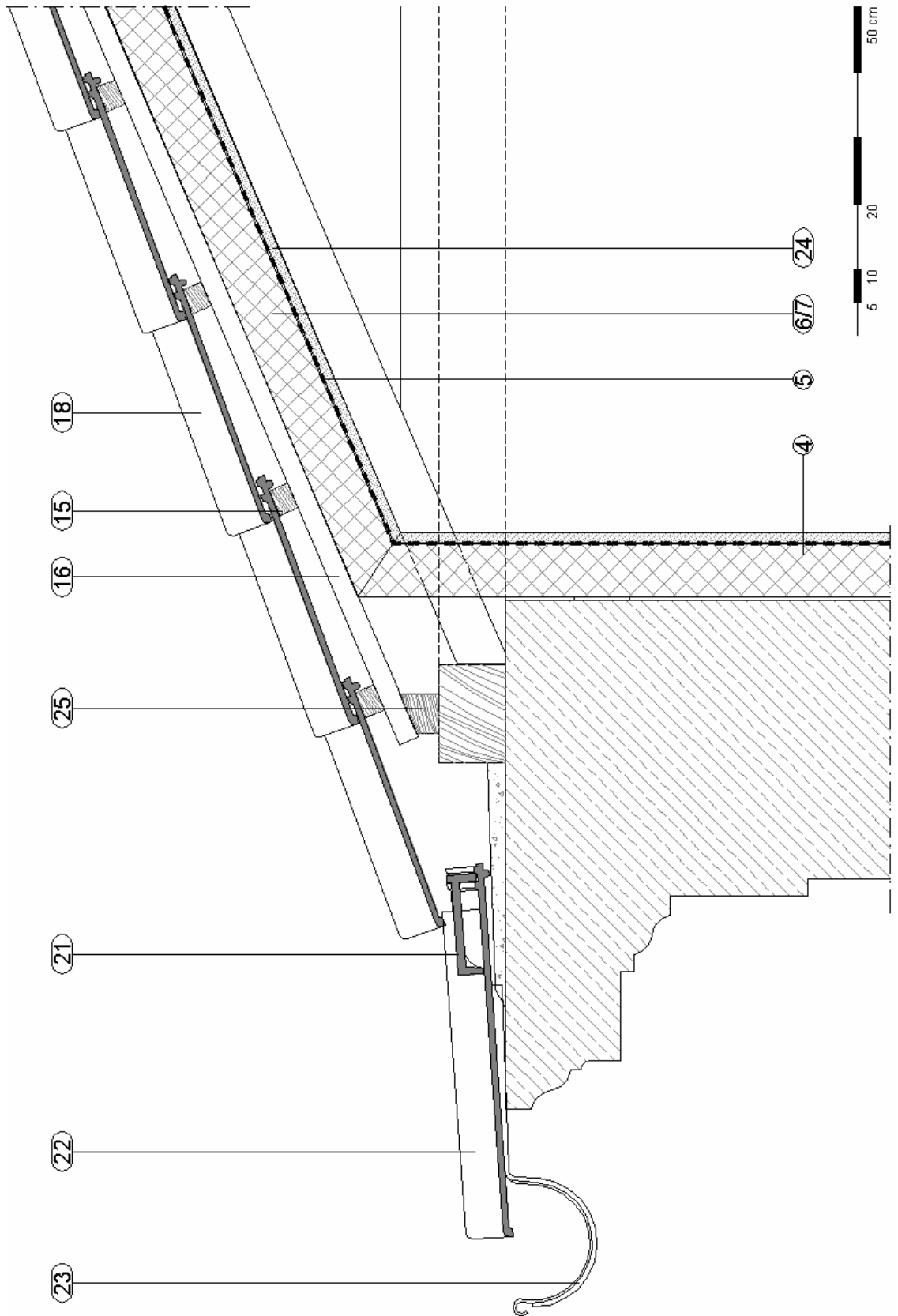


Figura 5.8: S4 - Pormenor na zona do beirado.

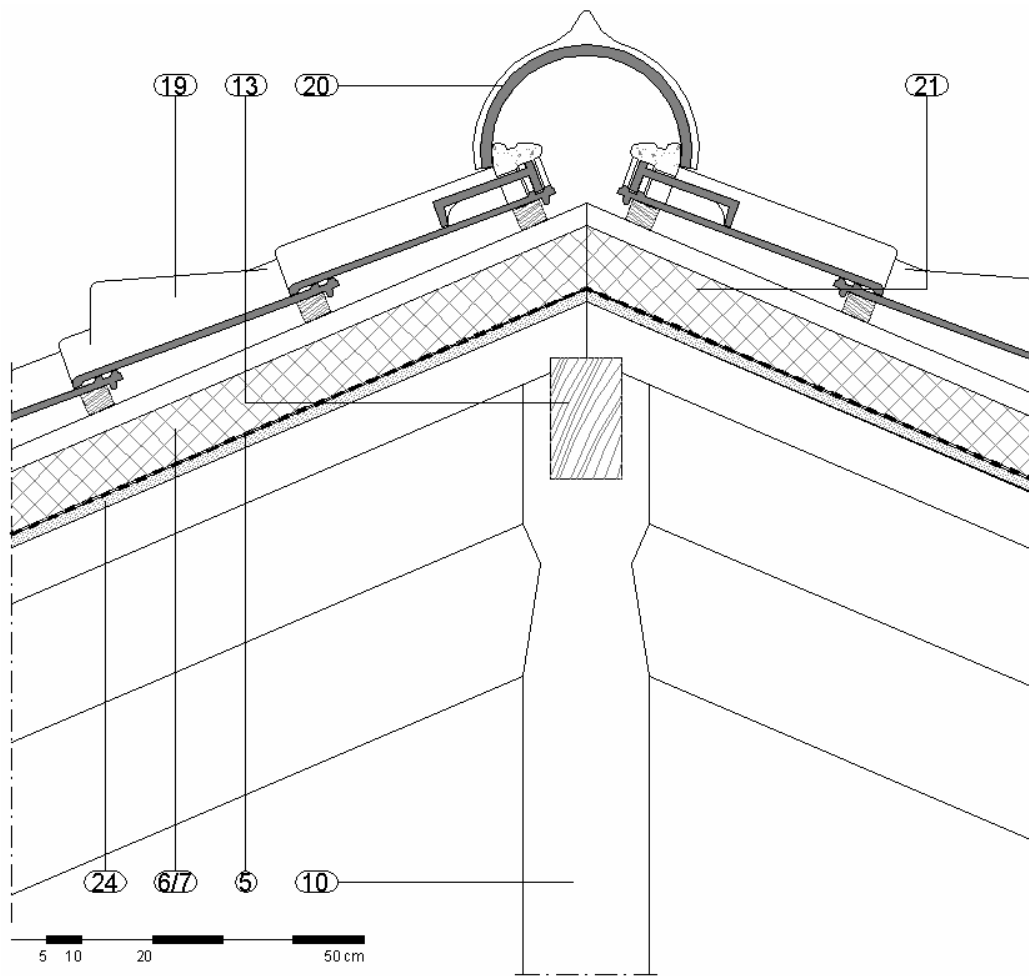


Figura 5.9: S4 - Pormenor na zona da cumeeira.

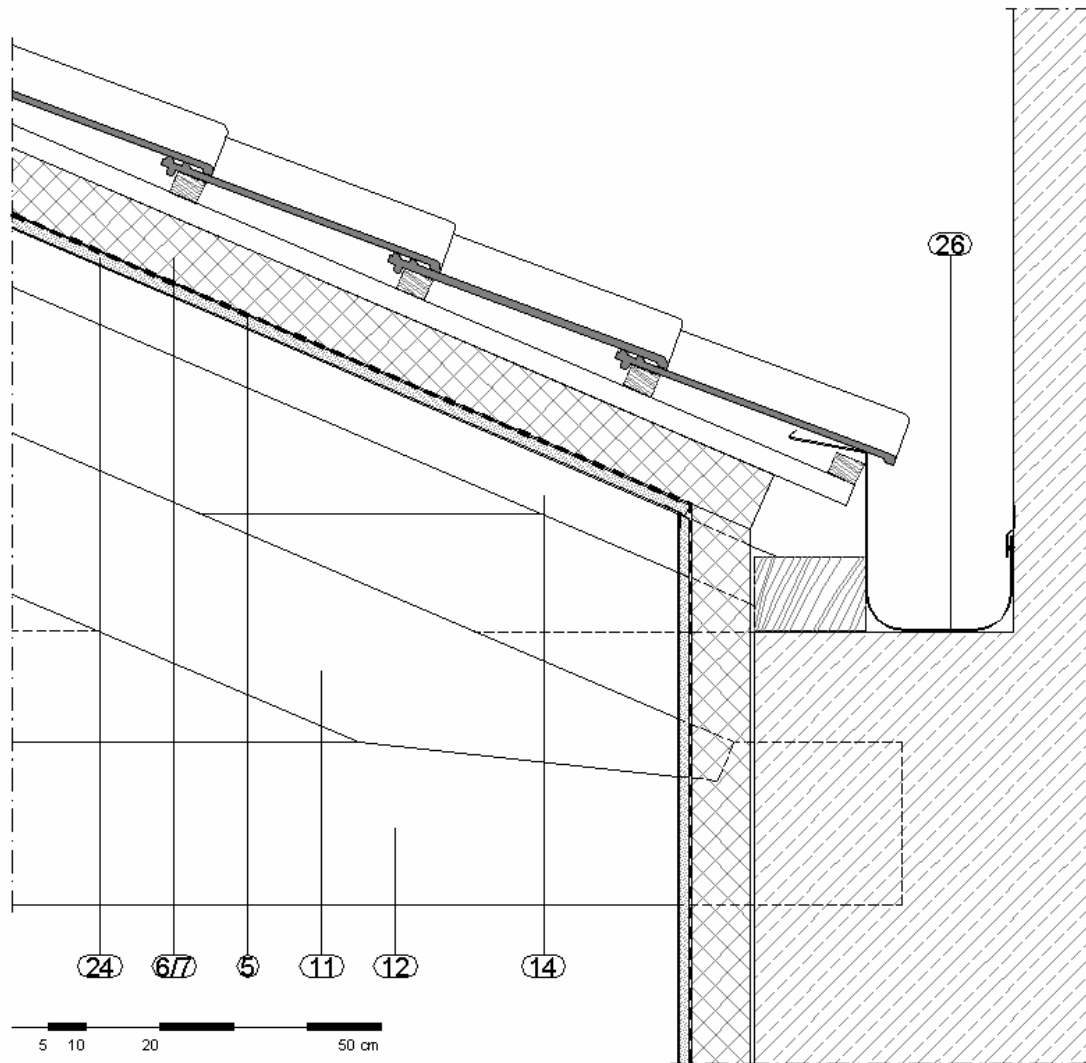


Figura 5.10: S4 - Pormenor na zona de ligação com empena.

5.3.4.5 Isolamento térmico sob as varas da estrutura do telhado [S5]

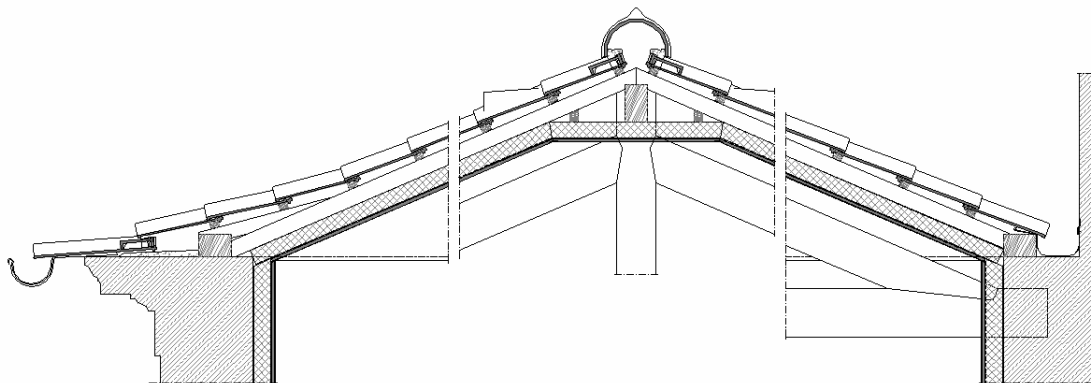


Figura 5.11: Solução de Isolamento térmico contínuo sob as varas da estrutura do telhado.

Quando não se prevê qualquer intervenção, quer ao nível do revestimento da cobertura quer da sua estrutura de suporte, a solução passa por aplicar o sistema na sua face interior.

A colocação de isolante sob a forma contínua na face inferior das varas tem a vantagem de garantir uma maior uniformidade da cobertura em termos de resistência térmica. A aplicação pode ser feita através da fixação directa do isolante às varas ou através de painéis compostos com revestimento decorativo ou de protecção já incluídos.

Nesta situação, estará garantido, à partida, um espaço de ventilação adequado sobre o isolante. Como desvantagem, pode indicar-se a ligeira redução de pé-direito livre do desvão, uma vez que, além da espessura do isolante, é necessário contar com a dos revestimentos de tecto.

Trata-se de uma solução de rápida execução não exigindo grandes meios mecânicos e que pode assumir as seguintes variantes:

- Colocação de mantas flexíveis de materiais isolantes sobre o acabamento de tecto (gesso cartonado, madeira maciça ou aglomerados) – mantas de lã de vidro ou de rocha;
- Colocação de placas isolantes sobre o acabamento de tecto (gesso cartonado, madeira maciça ou aglomerados) - placas de poliestireno extrudido ou expandido, aglomerado negro de cortiça, lã mineral.

Para garantir a continuidade do isolamento térmico, a intervenção deverá acontecer pela face interior da fileira, sendo a rigidez da estrutura assegurada por intermédio de calços de madeira a fixar nas varas. O desenho geométrico da cobertura, pelo interior, resultará numa forma assotada na zona da fileira, conforme o pormenor da Fig. 5.14.

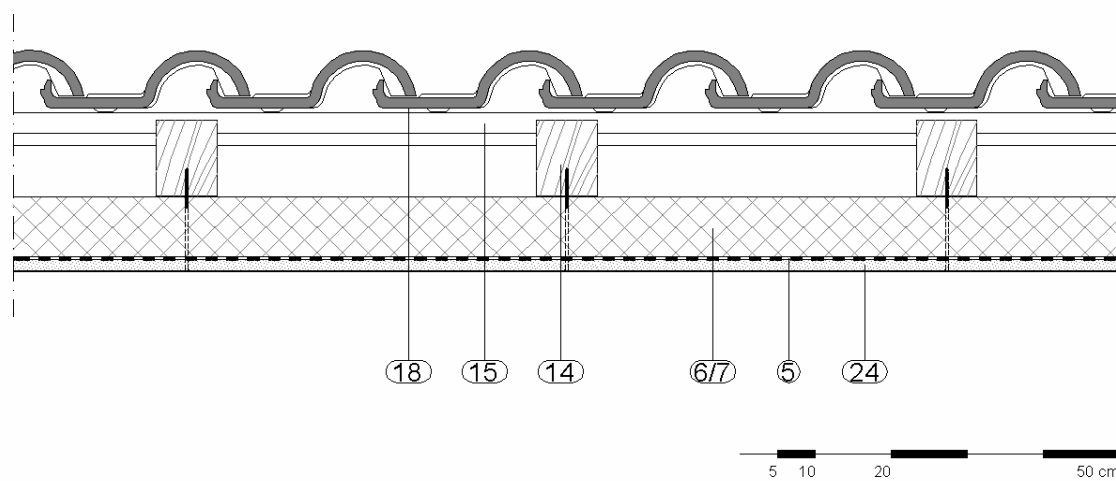


Figura 5.12: S5 – Pormenor transversal.

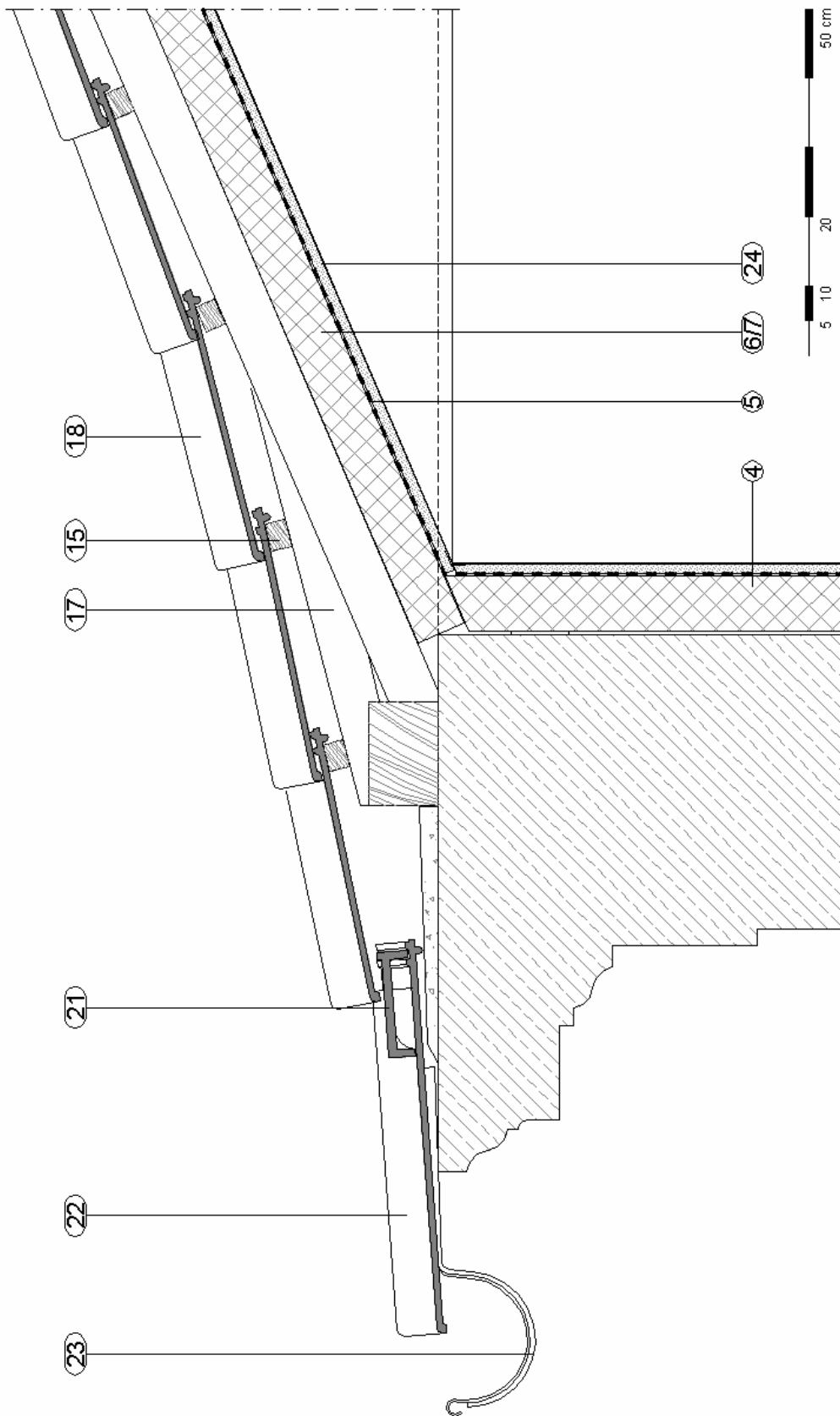


Figura 5.13: S5 – Pormenor na zona do beirado.

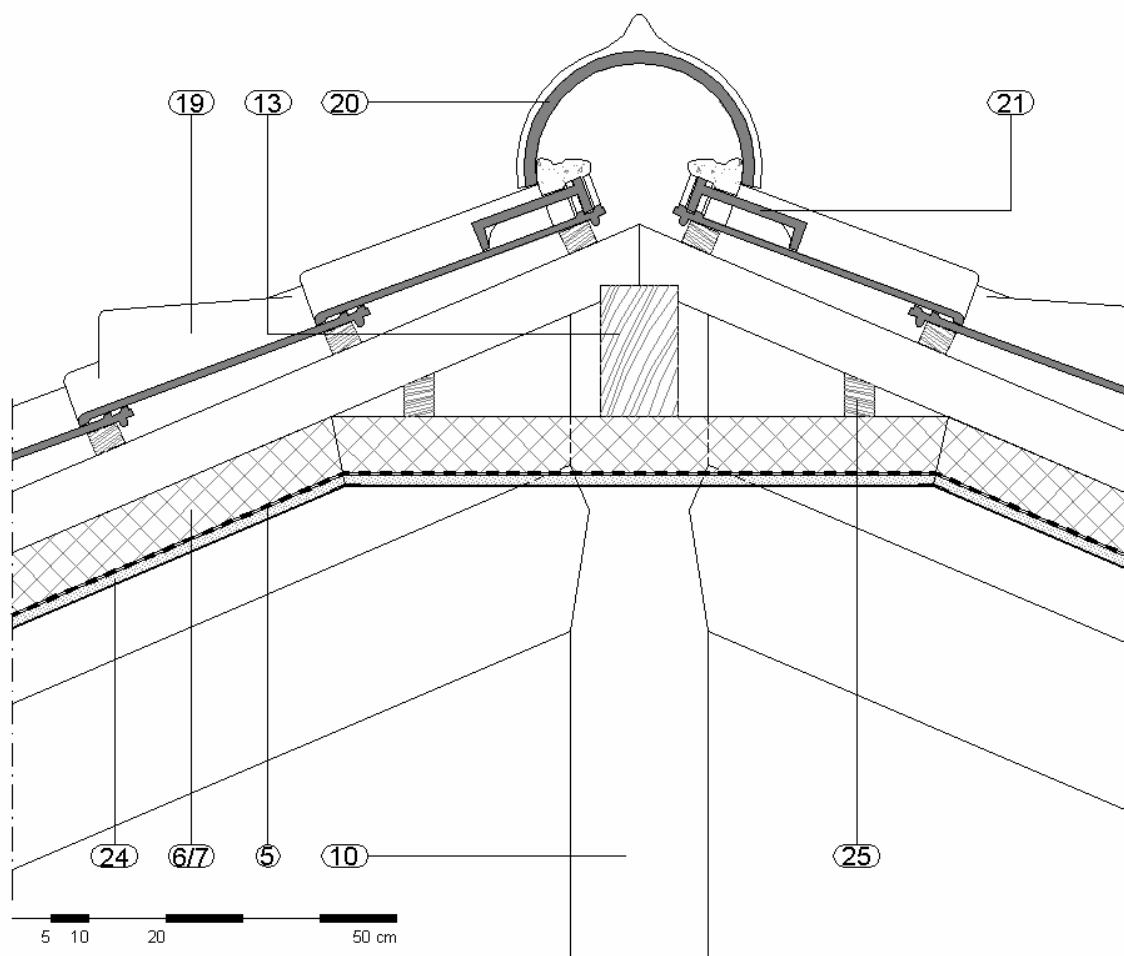


Figura 5.14: S5 – Pormenor na zona da cumeeira.

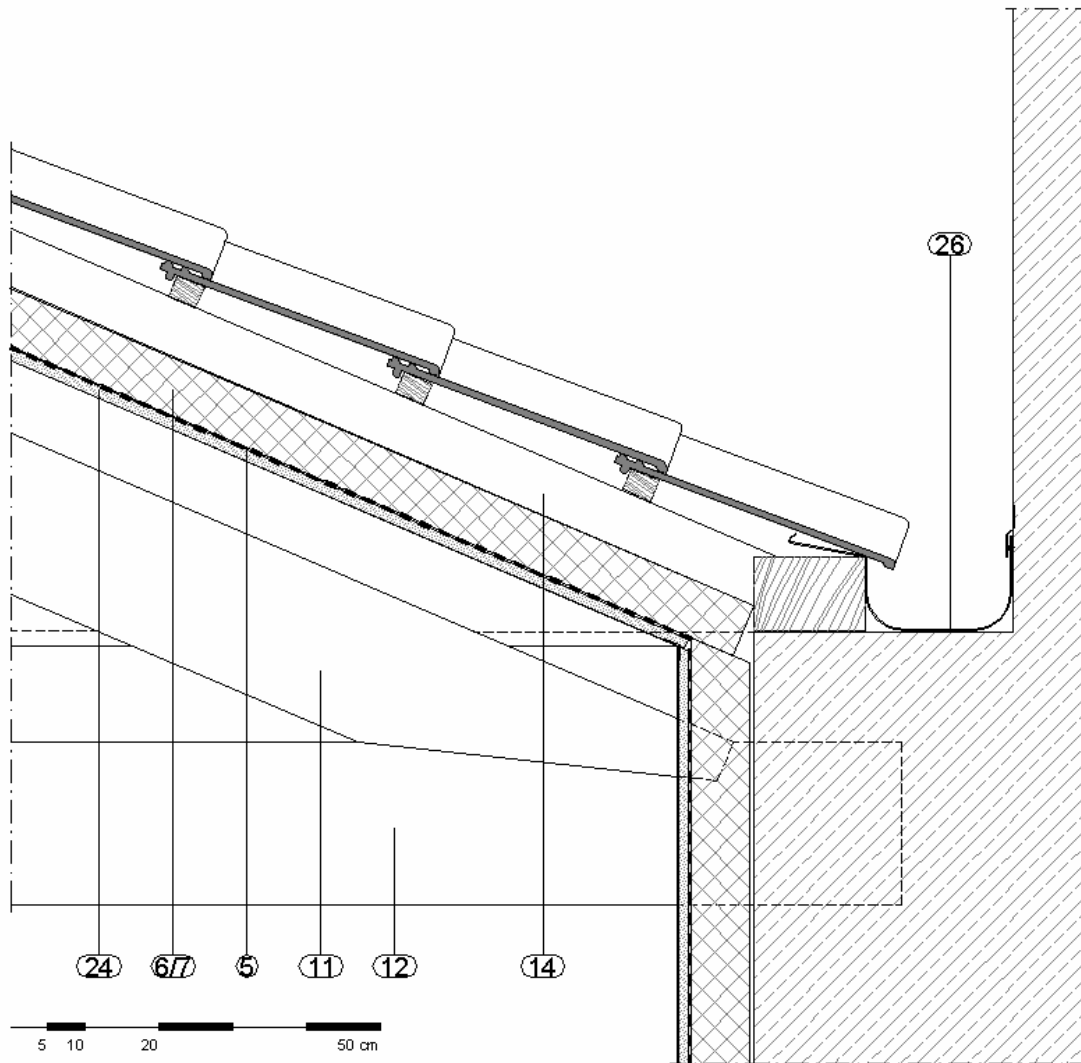


Figura 5.15: S5 – Pormenor na zona de ligação com empena.

5.3.4.6 Isolamento térmico entre as varas da estrutura do telhado [S6]

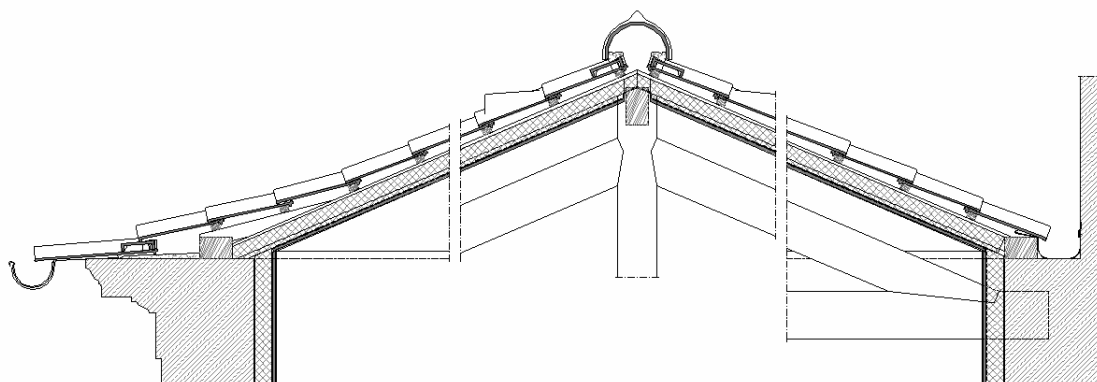


Figura 5.16: Solução de Isolamento térmico descontínuo entre as varas da estrutura do telhado.

Esta solução baseia-se no mesmo princípio da solução anterior, sendo o sistema aplicado, neste caso, entre as varas da cobertura.

Se a face superior do isolante estiver alinhada com a face superior das varas, então deve ser prevista a colocação de contra-ripas com espessura igual ou superior a 2cm, para evitar o contacto entre as ripas e o isolante e garantir a ventilação. Contudo, esta situação em concreto não será tida em consideração para o presente estudo por se tratarem de soluções de reabilitação e por não ser previsto o levantamento do revestimento da cobertura, neste caso particular.

No caso de se optar pela utilização de isolantes sob a forma de manta flexível, é necessário construir, entre as varas ou sob estas, um tecto de suporte (em geral madeira ou seus derivados), que pode ter também uma função decorativa e de estanquidade geral da cobertura ao ar. Com as placas rígidas, estas duas funções complementares – que são essenciais – podem ser desempenhadas por outro tipo de elementos (forros ou écrans) que não têm que estar em contacto directo com o isolante, nem servir-lhe de suporte.

Aqui, tal como nos restantes casos, é recomendável a colocação de barreira pára-vapor contínua sob o isolante, em toda a cobertura, entre a face inferior do isolante e o acabamento interior.

À semelhança da solução anterior, pode assumir as seguintes variantes construtivas:

- Colocação de mantas flexíveis de materiais isolantes sobre o acabamento de tecto (gesso cartonado, madeira maciça ou aglomerados) – mantas de lã de vidro ou de rocha;

- Colocação de placas isolantes sobre o acabamento de tecto (gesso cartonado, madeira maciça ou aglomerados) - placas de poliestireno extrudido ou expandido, aglomerado negro de cortiça, lã mineral.

A dimensão do vão a vencer tem consequências directas nas secções do madeiramento utilizado. Esta situação levará a certos condicionalismos físicos de aplicação da solução, havendo necessidade da adequação do pormenor de execução, particularmente quando se trata de espessuras de isolante térmico superiores a 8cm.

Para o caso importará a altura das varas que, de acordo com a tabela 2.1, têm uma altura máxima de 10cm para vãos até 10 metros.

Os níveis de qualidade térmica estudados atingem facilmente espessuras superiores, sendo que nestes casos a solução adequada será a de rebaixar o necessário para garantir a ventilação da estrutura de suporte (ripas) do revestimento descontínuo da cobertura e preencher com isolante térmico de menor espessura os espaços sobranceiros da face inferior das varas.

A solução deixará de ser considerada de isolamento descontínuo, contudo, e a bem da verdade, é uma situação intermédia já que não é possível garantir o mesmo coeficiente de transmissão térmica da solução contínua.

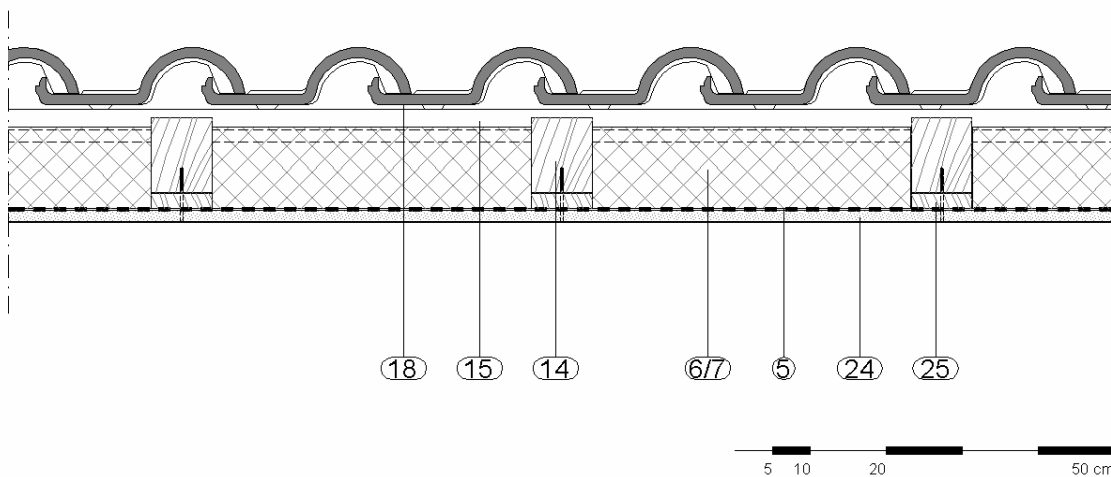


Figura 5.17: S6 – Pormenor transversal.

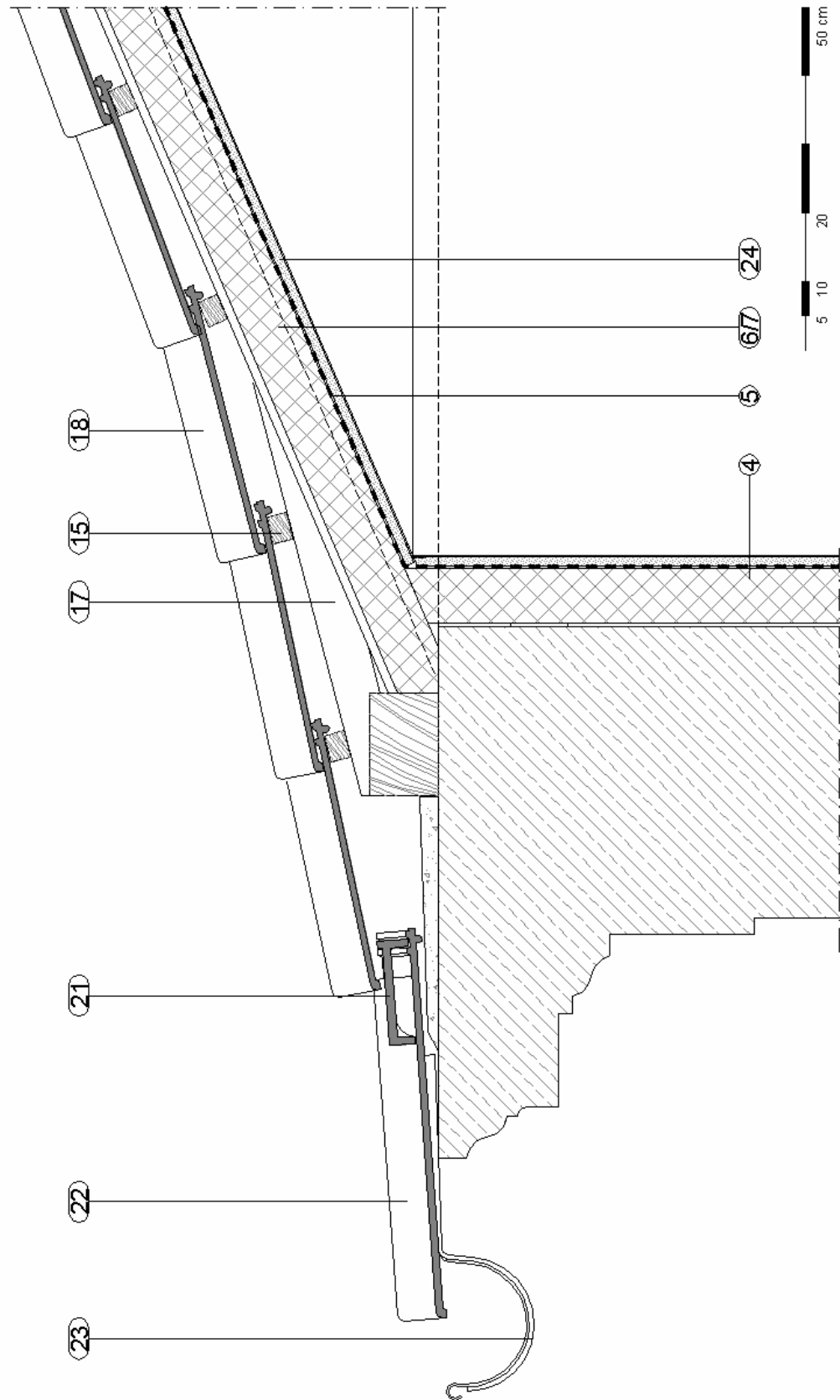


Figura 5.18: S6 – Pormenor na zona do beirado.

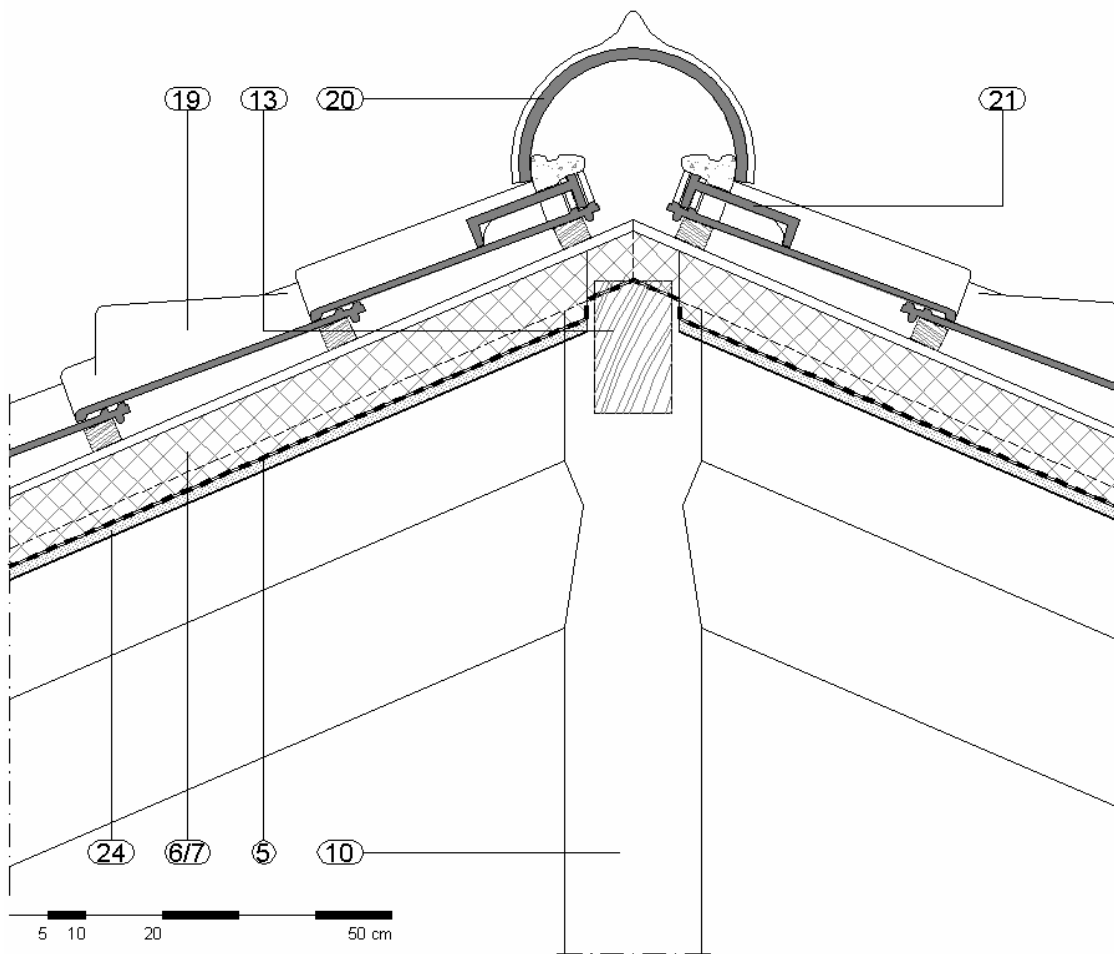


Figura 5.19: S6 – Pormenor na zona da cumeeira.

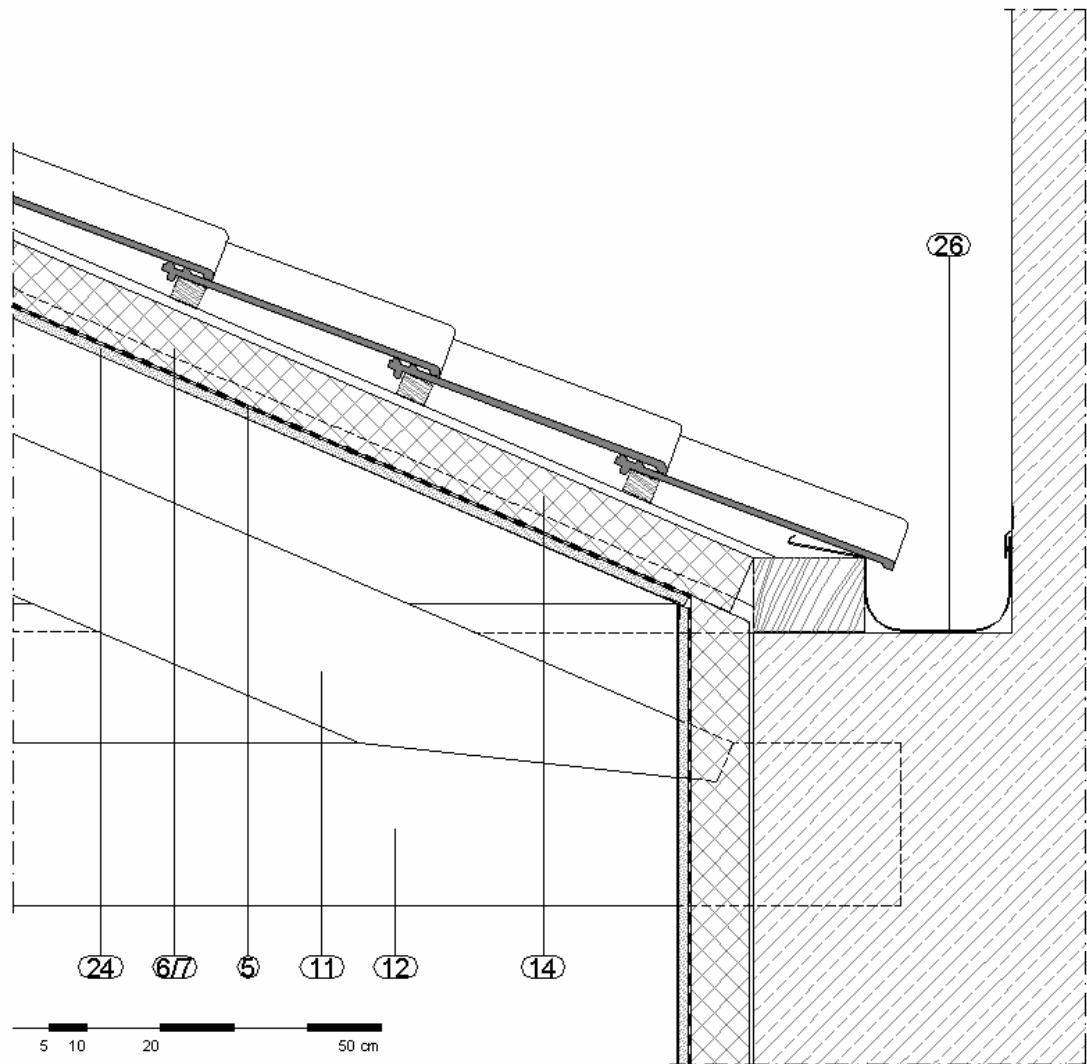


Figura 5.20: S6 – Pormenor na zona de ligação com empena.

5.4 Caracterização Económica

5.4.1 Considerações Prévias

As medidas de eficiência energética das coberturas, nomeadamente através do incremento do isolamento térmico, são as que introduzem uma melhoria significativa do ponto de vista da análise custo-benefício, considerando a diminuição das perdas térmicas e consequentemente das necessidades energéticas face ao carácter simples e económico da intervenção.

No entanto, esta melhoria só se torna economicamente rentável para o consumidor a partir do momento em que os custos do investimento inicial forem inferiores à poupança acumulada. Para se definir tal cenário é necessário avaliar os diferentes consumos energéticos associados às diferentes soluções construtivas.

O estudo económico das soluções de reabilitação térmica analisadas tem como principal objectivo definir a espessura adequada a empregar em função de alguns factores, nomeadamente do custo global da intervenção, da poupança energética conseguida, do período de retorno do investimento inicial efectuado e das perdas térmicas. No Anexo III são apresentados os resultados completos dos cálculos efectuados para o referido estudo.

5.4.2 Análise do Custo Global [C_g]

A resistência térmica das diferentes soluções construtivas é altamente variável consoante o tipo de isolante escolhido e a espessura aplicada. Torna-se, então, imprescindível avaliar qual a espessura de isolante mais vantajosa do ponto de vista económico, sendo para tal necessário conhecer o custo global associado que resulta da composição dos custos iniciais (aplicação do isolante térmico) com os custos de exploração (consumo de energia) [15].

Considerou-se, para este efeito, que a intervenção de reabilitação térmica mais favorável será aquela em que o custo global for menor, tendo em conta que o aumento da espessura de isolamento térmico (a que corresponde um determinado investimento inicial) tem como consequência a diminuição dos consumos energéticos (conforme exemplifica a figura seguinte).

Desta forma, o custo global é definido pela seguinte expressão simplificada:

$$C_g = C_0 + C_{exp} \quad [€]$$

em que:

- C_g → Custo Global;
- C_0 → Custo Inicial da solução construtiva adoptada;
- C_{exp} → Custo de Exploração que corresponde às necessidades de aquecimento do ambiente interior.

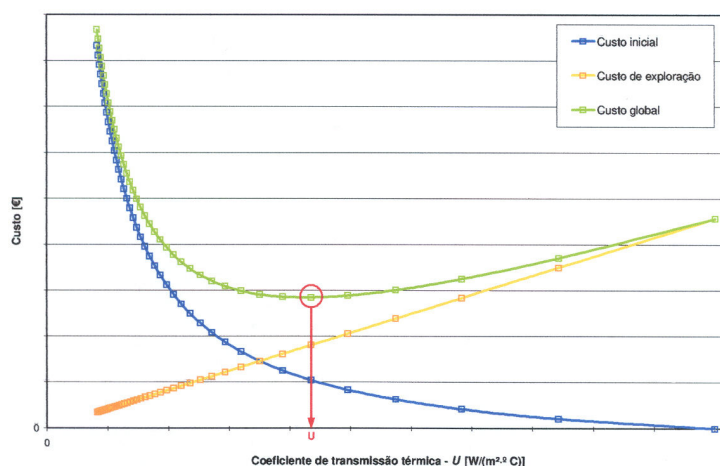


Figura 5.21: Variação do custo global associado ao isolamento térmico de um elemento construtivo em função do respectivo coeficiente de transmissão térmica [15].

Contudo, na tentativa de alcançar um estudo realista do ponto de vista do investimento financeiro (e do seu retorno), foram considerados os parâmetros que influem na variação do valor do dinheiro ao longo dos anos, nomeadamente as taxas de inflação e de juro. A consideração das variáveis da inflação e da actualização do capital para o cálculo resultam da necessidade de reportar o custo global das diferentes soluções a uma mesma data – ao momento da realização do investimento inicial.

E, tomando o cenário económico actual como ponto de partida, considerou-se uma taxa de inflação anual constante na ordem dos 3% e 5% para a taxa de juro anual, para um universo de tempo de 15 anos [n], considerando este período temporal adequado para as expectativas de vida útil do tipo de reabilitação a proceder.

Temos, então, para o custo global acumulado reportado ao momento do investimento a seguinte expressão:

$$C_g = C_0 + \sum_{k=1}^n C_{\text{exp } 1^{\circ} \text{ ano}} \frac{(1+i)^{k-1}}{(1+j)^k} \quad [€]$$

em que:

- C_0 → Custo Inicial da solução construtiva adoptada, que engloba o custo do isolamento térmico escolhido e dos custos associados à sua implementação (investimento no ano 0);
- $C_{\text{exp } 1^{\circ} \text{ ano}}$ → Custo de Exploração que corresponde às necessidades de aquecimento do ambiente interior no 1º ano;
- i → Taxa de Inflação;
- j → Taxa de Juro;

- $n \rightarrow$ número de anos (15) considerado de vida útil.

De referir que para o cálculo do custo global, incluindo as parcelas que o compõem e que se discriminam nos pontos seguintes, os valores tratados não consideram o IVA por se tratar de um imposto marginal e variável.

Para além disso, temos consciência que para obter o custo global mais próximo da realidade faltará associar os custos de manutenção de cada solução de reabilitação. Contudo foi opção excluir esta parcela de forma a simplificar o grau de complexidade da análise, ficando registada a salvaguarda.

5.4.2.1 Análise do Custo Inicial [C_0]

Para a definição do custo inicial de investimento de cada solução construtiva, procurou-se um valor global que abarcasse o **preço da mão-de-obra** das diferentes tarefas necessárias, bem como, em certas circunstâncias, o conjunto do custo do fornecimento e aplicação de material específico, conforme se discrimina na tabela 5.5. Consideraram-se, então, os seguintes custos unitários para as diferentes tarefas:

Tabela 5.9: Custos associados a tarefas.

Tarefa		€/m ²
Demolição / Remoção	Mão-de-obra (equipa mín. 2 pessoas)	5,00
Aplicação simples	Mão-de-obra (equipa mín. 2 pessoas)	5,00
Reaplicação	Mão-de-obra + material acessório	10,00
Fornecimento e aplicação	Tecto falso em gesso cartonado	30,00
Fornecimento e aplicação	Subtelha (incluindo peças de remate e fixação)	10,00

E, partindo destes pressupostos, que apenas deixam de fora o custo dos isolantes térmicos, chegou-se aos seguintes valores que serviram de base para definir o custo unitário de cada solução estudada:

Tabela 5.10: Custos dos trabalhos de execução de cada solução de isolamento térmico estudada.

Solução		€/m ²
S1	Isolamento contínuo sobre a laje de esteira	5,00
S2	Isolamento descontínuo sobre a laje de esteira	5,00
S3	Isolamento contínuo sob a laje de esteira	35,00
S4	Isolamento contínuo sobre as varas da estrutura do telhado	55,00
S5	Isolamento contínuo sob as varas da estrutura do telhado	35,00
S6	Isolamento descontínuo entre as varas da estrutura do telhado	35,00

Em relação ao **custo dos isolantes térmicos**, as espessuras que serviram de base para o desenvolvimento do trabalho resultam da oferta disponível no mercado, de acordo com a generalidade dos fabricantes consultados.

Tomou-se em consideração os preços médios para as espessuras correntes que variam entre os 50mm e os 120mm, conforme se verifica na tabela seguinte.

Tabela 5.11: Preços médios de venda dos isolantes térmicos.

ISOLANTE TÉRMICO		Espessura	€/m ²
Apresentação		[mm]	(s/ IVA)
MW	Manta	60	3,18
		80	4,02
		100	4,96
	Placa	50	6,31
		60	7,56
		80	10,14
100		12,69	
ICB	Placa	50	9,18
		60	11,01
		75	13,76
		80	14,68
		100	18,35
EPS	Placa	120	22,00
		50	3,01
		60	3,62
		70	4,22
XPS	Placa	80	4,82
		100	6,03
		50	6,40
		60	7,68
	Placa	70	9,45
		80	10,80

As figuras que se seguem retratam o custo do investimento inicial por metro quadrado de cada solução estudada e para cada isolante térmico, considerando para o efeito os custos dos trabalhos de execução (tabela 5.10) e do isolante em função da espessura (tabela 5.11).

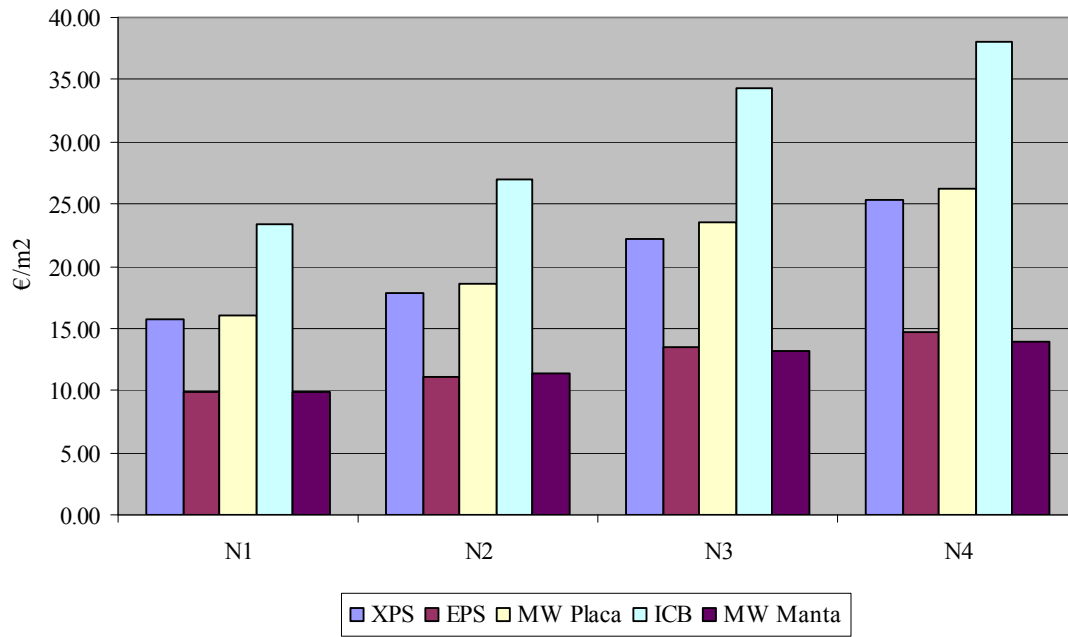


Figura 5.22: Custo do Investimento Inicial por metro quadrado [€/m²] para a solução de Isolamento contínuo sobre a laje de esteira – S1.

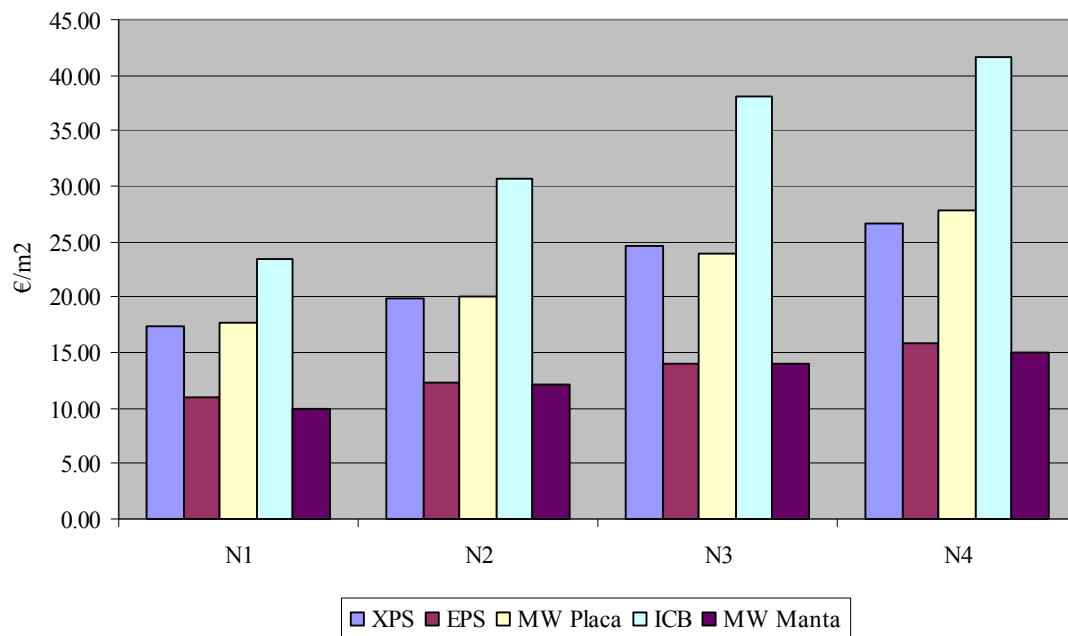


Figura 5.23: Custo do Investimento Inicial por metro quadrado [€/m²] para a solução de Isolamento descontínuo sobre a laje de esteira – S2.

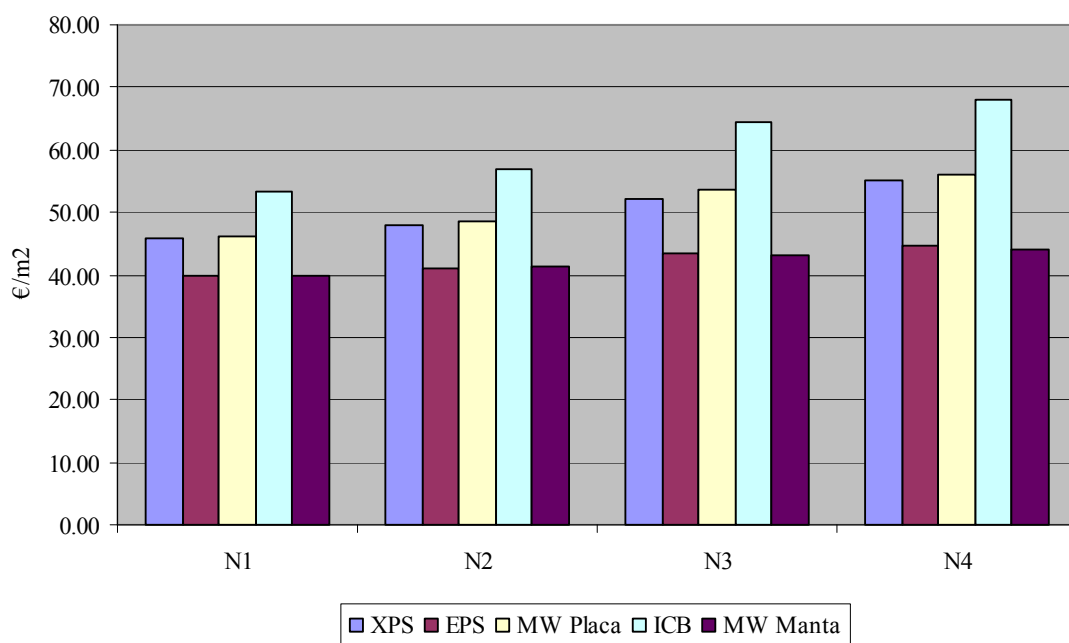


Figura 5.24: Custo do Investimento Inicial por metro quadrado [€/m²] para a solução de Isolamento contínuo sob a laje de esteira – S3.

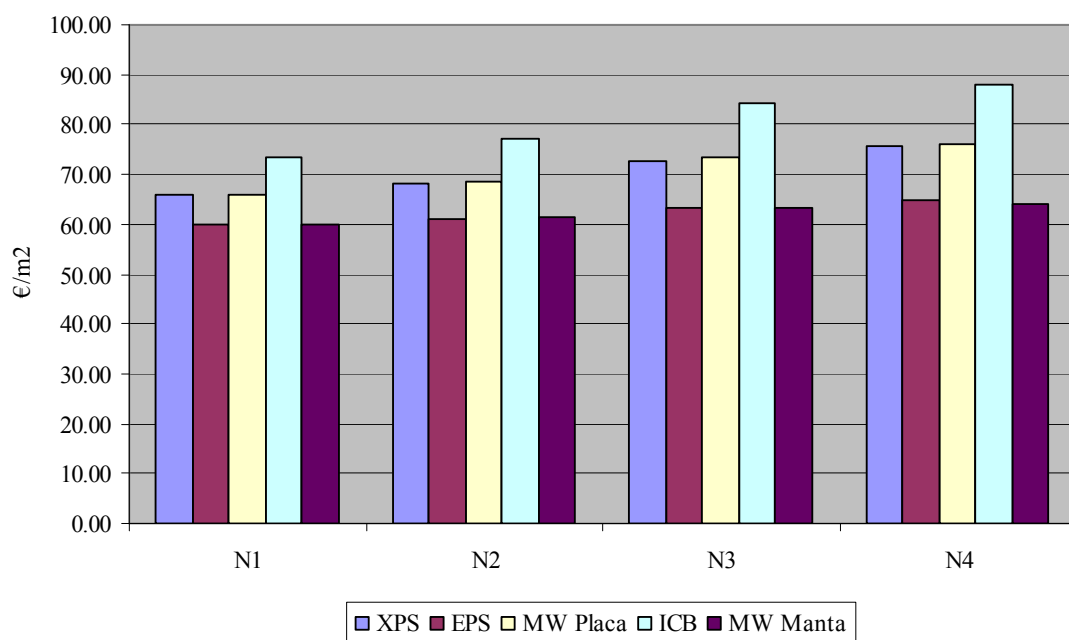


Figura 5.25: Custo do Investimento Inicial por metro quadrado [€/m²] para a solução de Isolamento contínuo sobre as varas da estrutura do telhado – S4.

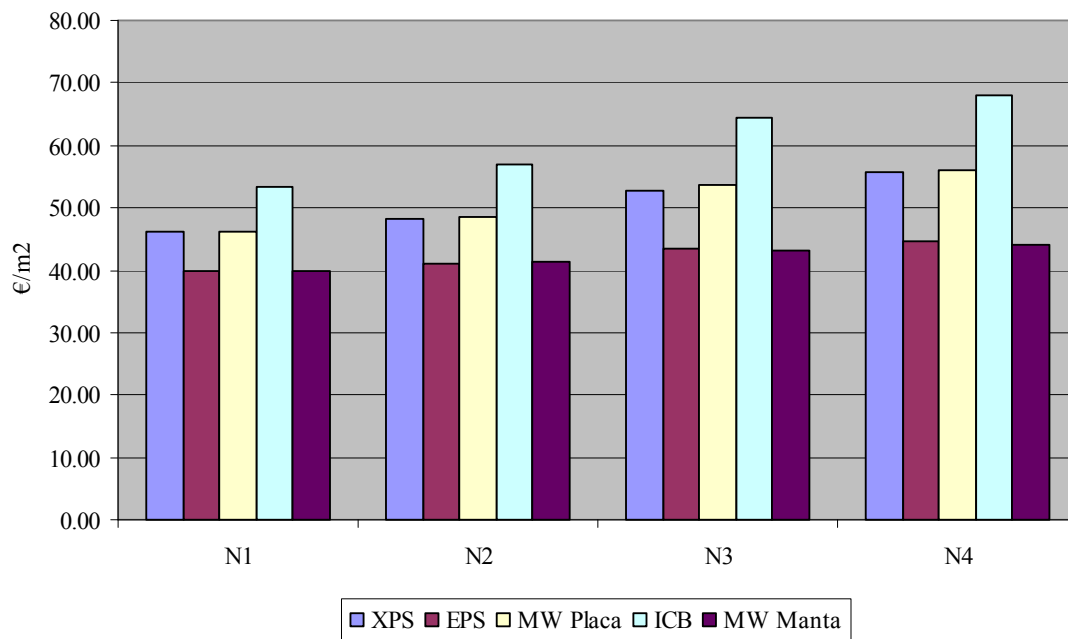


Figura 5.26: Custo do Investimento Inicial por metro quadrado [€/m²] para a solução de Isolamento contínuo sob as varas da estrutura do telhado – S5.

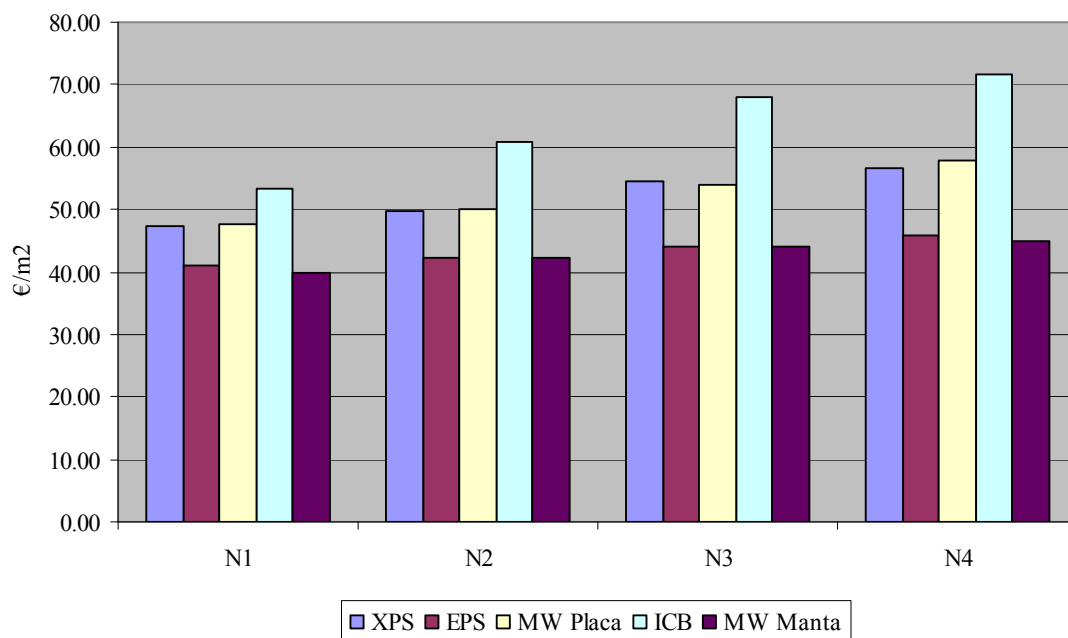


Figura 5.27: Custo do Investimento Inicial por metro quadrado [€/m²] para a solução de Isolamento descontínuo entre as varas da estrutura do telhado – S6.

Desde já é possível concluir que as soluções S1 e S2 – Isolamento (contínuo e descontínuo, respectivamente) sobre a laje de esteira – são aqueles que apresentam, em termos globais, o menor esforço financeiro para atingir o mesmo Nível de Qualidade térmica. Ainda assim, a solução de isolamento térmico contínuo sobre a laje de esteira (S1) é aquela que representa o menor investimento - já que o coeficiente de transmissão térmica é otimizado por se tratar de uma solução contínua de isolamento.

Por seu turno, a solução S4 – Isolamento contínuo sobre as varas da estrutura do telhado – é aquela que representa um maior esforço no investimento inicial. De facto, o peso dos trabalhos de execução, onde se inclui o levantamento integral do revestimento descontínuo da cobertura e a aplicação de subtelha^{‡‡}, são factores relevantes neste caso e acrescido o facto de a reabilitação ocorrer ao nível das vertentes, estamos perante a solução de reabilitação mais dispendiosa.

A ponderação da aplicação da subtelha para o reforço do sistema de impermeabilização da cobertura inclinada acresce de um custo de material na ordem dos 10,00€/m², mas só será uma solução economicamente vantajosa se a intervenção de reabilitação obrigar ao levantamento do revestimento descontínuo da cobertura, como é o caso da solução S4.

Se não for o caso, o acréscimo de investimento obrigará às tarefas de demolição e reconstrução do revestimento da cobertura não previstas nas outras soluções estudadas, e que corresponde a um incremento global da ordem dos 25,00€/m².

E, para uma correcta ponderação dos custos de intervenção de cada solução, convirá salientar a diferença de área a isolar entre as soluções na esteira horizontal (soluções S1, S2 e S3) e nas vertentes da cobertura inclinada (soluções S4, S5 e S6). Ou seja, apesar dos custos das tarefas associadas às soluções S3, S5 e S6 serem equivalentes por m², às duas últimas intervenções corresponderá um investimento superior por se referirem a maiores áreas a tratar (nas vertentes).

Temos em concreto para os casos em estudo, no que respeita às áreas de coberturas a intervir, um diferencial entre as áreas de laje de esteira e das vertentes que ronda os 18% para o caso A, os 39% para o caso B e os 24% no caso C, de acordo com a tabela 5.7.

Relativamente à selecção do tipo de isolante térmico a aplicar, é possível concluir, desde já, que o poliestireno expandido (EPS) e a manta de lã mineral (MW) têm um custo muito semelhante, sendo, na generalidade das situações, os materiais mais atractivos do ponto de vista económico para qualquer um dos tipos de reabilitação analisados.

^{‡‡} A aplicação da subtelha foi tida em consideração no estudo económico da solução S4, assumindo-se que irá actuar como reforço do sistema de impermeabilização da cobertura (supostamente garantido pelas telhas cerâmicas). Em todo o caso, se as pendentes não forem as convenientes (por insuficiência), a aplicação deste material deverá ser equacionada para qualquer tipo de solução de reabilitação.

As opções pelo poliestireno extrudido (XPS) e pela placa de lã mineral (MW) apresentam também um custo muito equivalente entre si, sendo, contudo superior aos primeiros.

Para além disso, o aglomerado negro de cortiça (ICB) revelou-se o isolante mais caro para qualquer das soluções estudadas, atingindo, por exemplo, nas soluções S1 e S2 mais do dobro do custo face a outros isolantes para um mesmo Nível de Qualidade.

5.4.2.2 Análise do Custo de Exploração [C_{exp}]

A energia na qual se baseia o estudo e, portanto, sujeita à simulação de actualização de preços referida no ponto 5.4.2, é a energia eléctrica que apresenta actualmente um tarifário simples de baixa tensão de 0,1143€/kWh (sem IVA) para o consumidor doméstico.

A tabela seguinte mostra a variação dos valores das necessidades anuais de aquecimento em função do Nível de Qualidade Térmica [N_{ic}] tendo por base os respectivos coeficientes de transmissão térmica de referência constantes na tabela 3.6, bem como as Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas [N_i], o Factor de Forma [FF] e a classe de inércia térmica para cada caso de estudo.

Tabela 5.12: Necessidades nominais de aquecimento [N_{ic}] em função do Nível de Qualidade Térmica, para cada Caso em Estudo.

Caso em Estudo	N_1	N_2	N_3	N_4	$U_{máx}$	N_i [kwh/m ² .ano]	FF	Classe de Inércia
A	75.22	71.16	68.58	67.11	95.74	83.78	0.76	Fraca
B	73.58	71.59	70.35	69.62	83.59	88.72	0.85	Média
C	45.43	42.21	41.41	40.96	54.29	68.10	0.30	Forte

O caso C é aparentemente o mais díspar, não só porque apresenta uma área de pavimento e um volume bastante superiores aos outros casos, mas também porque é aquele que exige menor dispêndio de energia para aquecimento. Sem dúvida que o Factor de Forma [FF] tem um papel preponderante nestes resultados. Como demonstra a tabela 5.12, dos três casos em estudo, o referido factor tem aqui o valor mais baixo pelo que é o mais favorável para o cálculo da optimização do comportamento térmico da envolvente exterior.

5.4.2.3 Apresentação dos resultados do Custo Global

De entre os resultados gerais obtidos foram seleccionados, para comparação com a situação de ausência de isolamento térmico, aqueles se figuravam com melhores prestações para cada material de isolamento térmico analisado (Anexo III).

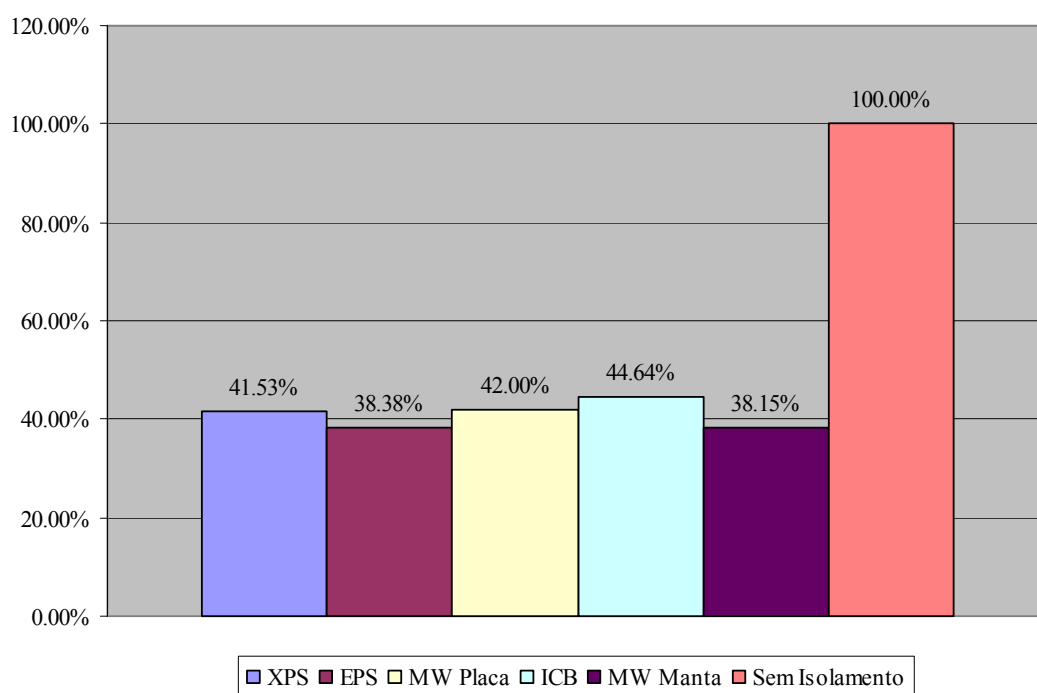


Figura 5.28: Percentagem do Custo Global para a solução S1 – Caso A, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.

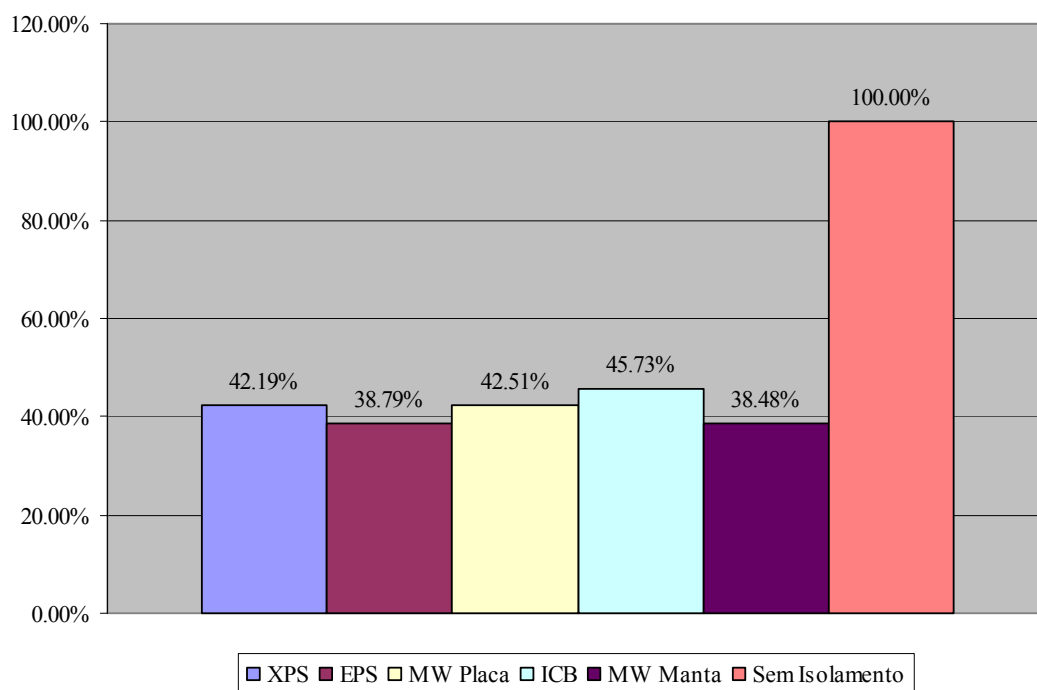


Figura 5.29: Percentagem do Custo Global para a solução S2 – Caso A, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.

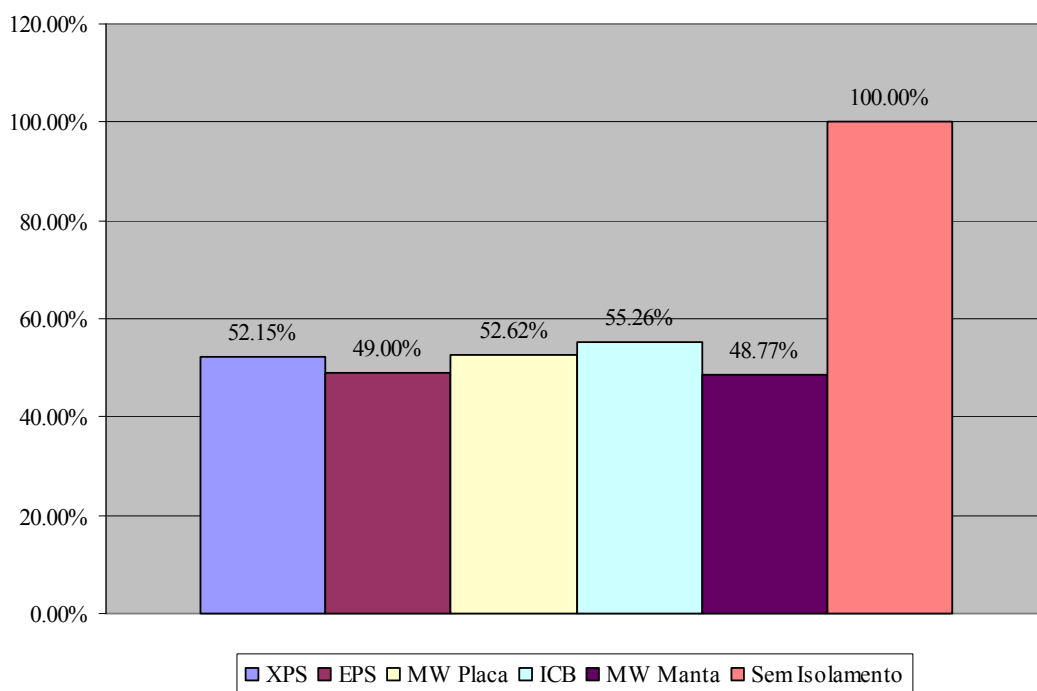


Figura 5.30: Percentagem do Custo Global para a solução S3 – Caso A, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.

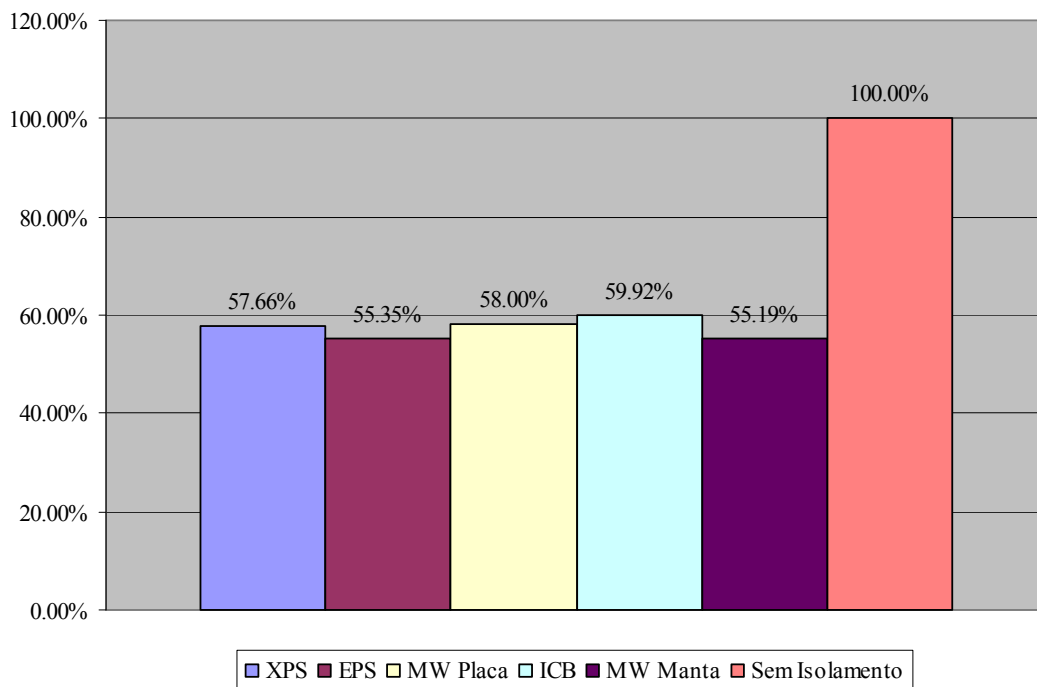


Figura 5.31: Percentagem do Custo Global para a solução S1 – Caso B, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.

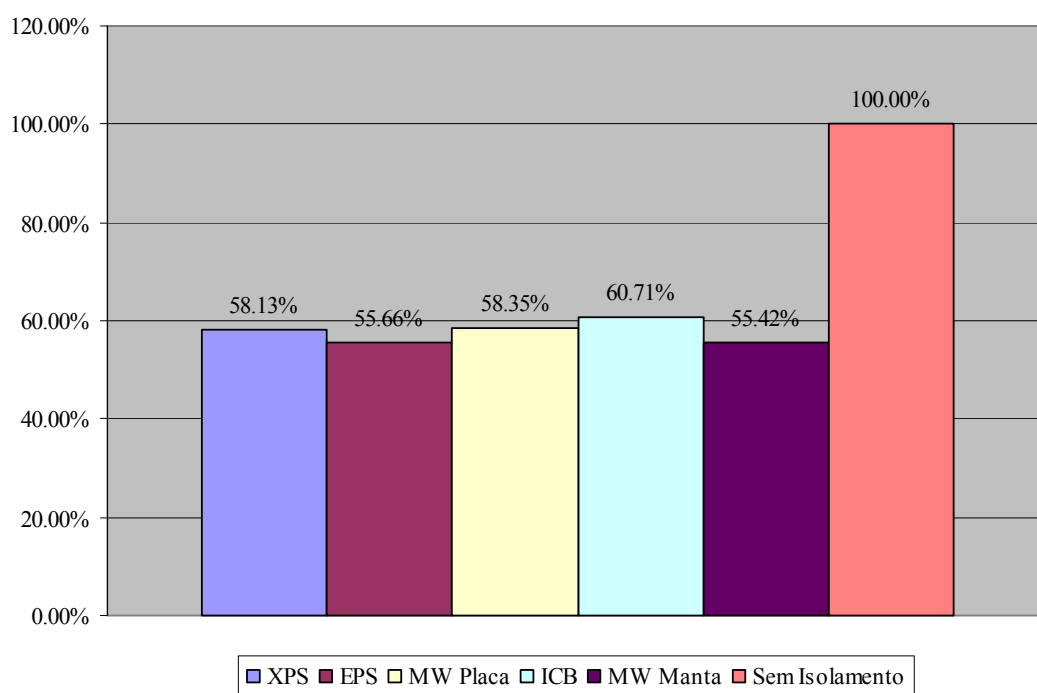


Figura 5.32: Percentagem do Custo Global para a solução S2 – Caso B, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.

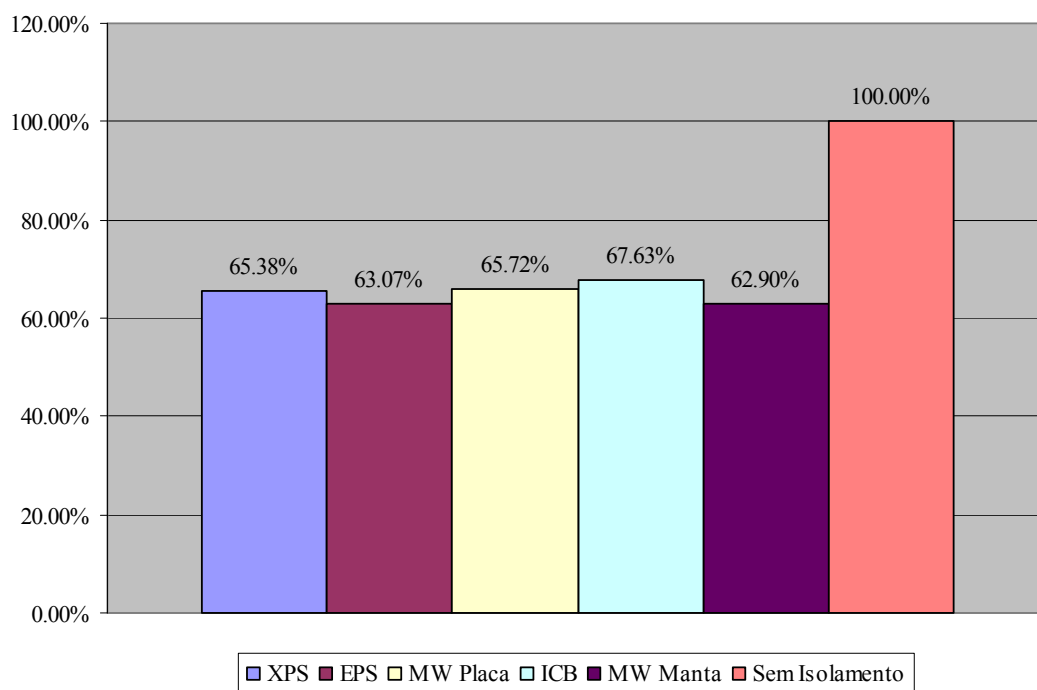


Figura 5.33: Percentagem do Custo Global para a solução S3 – Caso B, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.

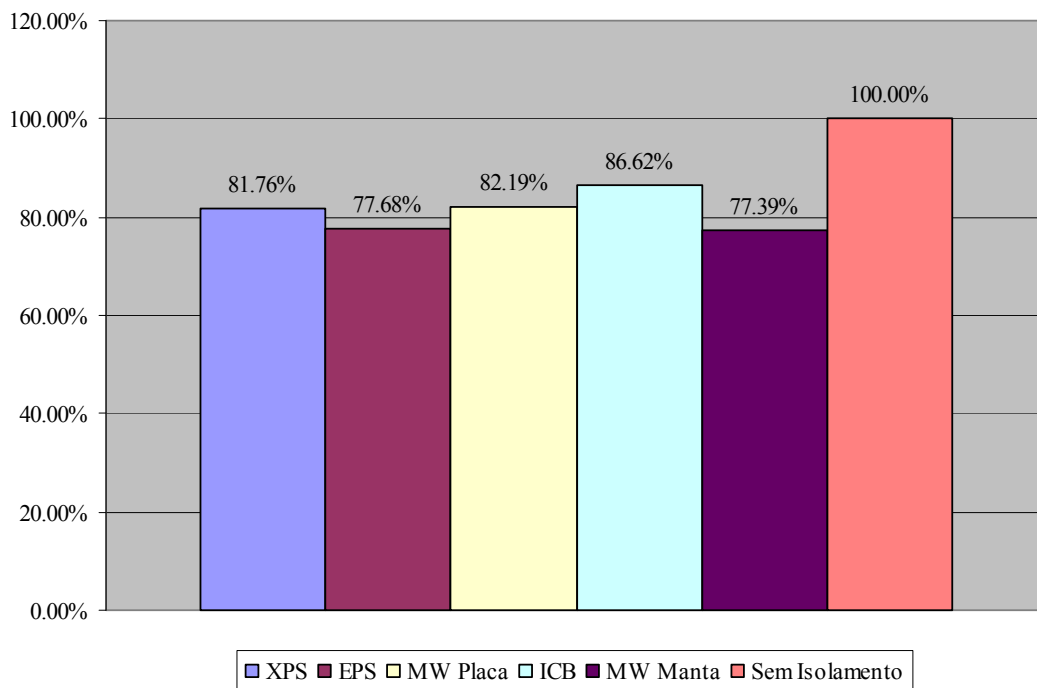


Figura 5.34: Percentagem do Custo Global para a solução S4 – Caso C, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.

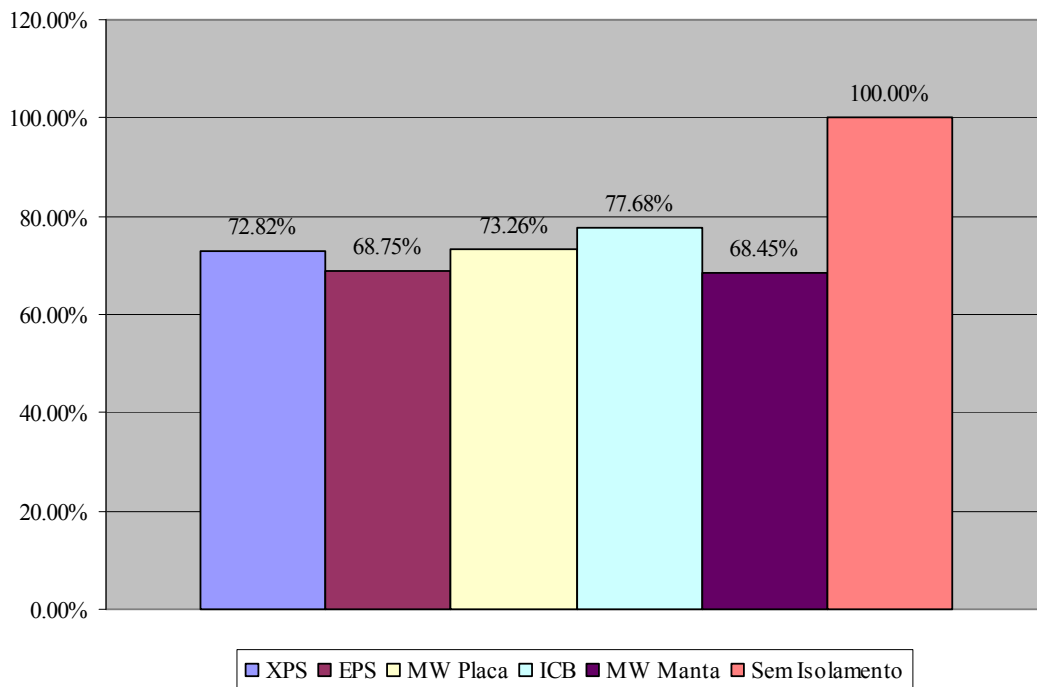


Figura 5.35: Percentagem do Custo Global para a solução S5 – Caso C, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.

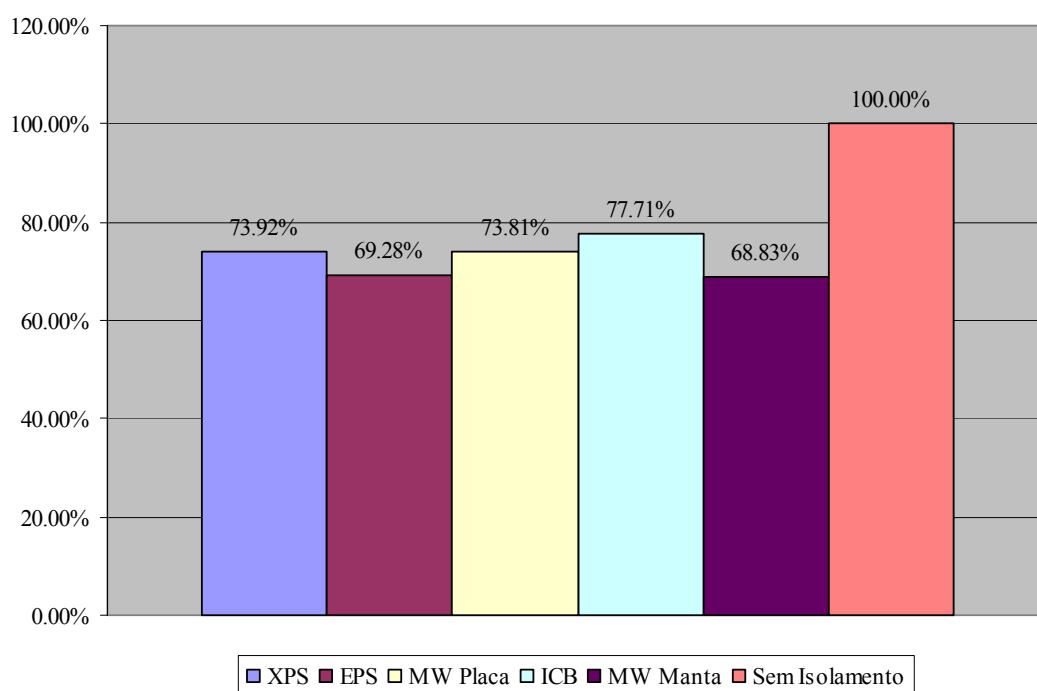


Figura 5.36: Percentagem do Custo Global para a solução S6 – Caso C, por comparação com a situação de ausência de isolamento térmico.

Em relação ao **caso A**, o diferencial entre as intervenções de reabilitação térmica e a ausência de isolamento térmico ao nível da cobertura é significativa.

Os Custos Globais andam em torno dos 38% na melhor das hipóteses (para MW em manta, com um nível de qualidade térmica N_4) e dos 55% para o pior cenário (para ICB, com um nível de qualidade térmica N_2). Ou seja, as intervenções ao nível da laje de esteira podem significar um custo médio aproximado na ordem dos 46% em relação aos custos energéticos da situação de ausência de isolamento térmico.

Naturalmente, como já foi verificado na análise do custo inicial, de entre as três opções de isolamento, a solução S1 é a opção que representa um investimento mais favorável.

Já em relação ao **caso B**, apesar da variabilidade dos custos entre os isolantes ser semelhante, o cenário é menos significativo quando comparado com a situação de referência. Trata-se, efectivamente, de uma área maior a isolar e com maiores perdas térmicas associadas, factores que se reflectem na poupança energética.

Os valores mais favoráveis andam na casa dos 55% (também para o MW em manta, com um nível de qualidade térmica N_4) e os menos favoráveis rondam os 68% (também para o ICB, com um nível de qualidade térmica N_2), o que dá um valor médio arredondado de 61%.

O caso C, tratando-se da situação em análise com as soluções de intervenção mais caras *à priori*, não poderia revelar valores mais optimistas que os casos anteriores.

Neste caso, a solução menos dispendiosa economicamente é a solução S5, para a qual a situação mais favorável de Custo Global é de cerca de 68% (para MW em manta, com um nível de qualidade térmica N_4), por oposição aos 77% (mais uma vez para o ICB, com um nível de qualidade térmica N_1), em comparação com a situação de referência. As soluções de isolamento térmico ao nível das vertentes poderão representar um custo da ordem dos 73% em relação aos custos energéticos da situação de ausência de isolamento térmico.

Contudo, tendo em consideração as características do edifício que se está a tratar (volume a tratar, a área de cobertura a isolar, etc.), constata-se que o impacto económico de qualquer uma das intervenções de reabilitação térmica é relevante para uma poupança energética efectiva.

Para além do mais, note-se que, o tempo de vida útil previsto e tomado como referência para o estudo económico foi de 15 anos, podendo-se assumir como o período mínimo expectável de durabilidade dos sistemas construtivos.

5.4.3 Análise da Poupança Energética

A definição da espessura ideal do isolante térmico, para cada uma das soluções analisadas, resulta de dois factores a ter em consideração.

Por um lado, o custo global da intervenção (abordado no ponto anterior) ao qual a solução de isolamento otimizada deverá corresponder o menor valor da soma das parcelas do custo inicial de investimento e do custo de exploração.

Por outro, deverá ser analisada a diferença entre o custo inicial de investimento e a poupança energética [P] que o conseqüente incremento no isolamento térmico vai potenciar.

Para tal, recorreu-se ao método da maximização do **Valor Líquido Acrescentado** – VLA – definido como sendo a diferença entre o somatório das poupanças, em valores actualizados (à semelhança do princípio de cálculo definido para o Custo Global), durante a vida útil do projecto, e o investimento inicial, que se traduz na seguinte equação:

$$V.L.A = \sum_{k=1}^n P_1 \frac{(1+i)^{k-1}}{(1+j)^k} - C_0 \quad [€]$$

em que:

- P_1 → Poupança nos custos energéticos de aquecimento no primeiro ano;
- C_0 → Custo do investimento inicial;
- i → Taxa de Inflação;

- $j \rightarrow$ Taxa de Juro
- $n \rightarrow$ número de anos (15) considerado de vida útil.

Através deste processo, ao valor maior de VLA corresponderá a espessura de isolamento térmico otimizada.

O ponto de partida para obter os valores da poupança energética, em função das soluções escolhidas, foi definido através das folhas de cálculo do RCCTE, considerando a ausência de isolamento ao nível das coberturas ($U = 3,8$) e tendo-se chegado aos seguintes valores:

Tabela 5.13: Custos energéticos para a solução sem isolamento térmico na cobertura.

	€/15anos
A	11467.47
B	16975.40
C	54590.14

Naturalmente e de forma empírica se pode concluir que, independentemente do material isolante e do tipo de aplicação, a poupança acumulada é maior quanto mais exigente for o nível de qualidade pretendido (entenda-se espessura de isolamento térmico).

Contudo, não é taxativo que as soluções que apresentem uma maior poupança na factura energética sejam aquelas que representam o melhor investimento. Será necessário correlacionar o valor da poupança com o valor do investimento inicial para concluir sobre a espessura de isolamento térmico economicamente mais vantajosa (ver Anexo III).

5.4.4 Análise do Período de Retorno

Mas, também importante na avaliação da espessura otimizada do isolamento térmico, é a definição do período do retorno financeiro de cada solução face à situação original - tomada como referência - que é caracterizada pela ausência de isolamento térmico (ver Anexo I). Ou seja, para cada solução de reabilitação térmica é fundamental determinar o número de anos necessários para recuperar o capital investido, por comparação com uma situação sem qualquer incremento do isolamento térmico.

A determinação do referido período de retorno foi definida através da comparação da poupança com a parcela do custo inicial da intervenção [C_0]. O período de retorno corresponderá ao número de anos necessários para que o somatório das poupanças iguale o capital investido, podendo se expressar da seguinte forma:

$$C_0 = \sum_{k=1}^r P_1 \frac{(1+i)^{k-1}}{(1+j)^k} \text{ [€]}$$

em que:

- $P_1 \rightarrow$ Poupança nos custos energéticos de aquecimento no primeiro ano;
- $C_0 \rightarrow$ Custo do investimento inicial;
- $i \rightarrow$ Taxa de Inflação;
- $j \rightarrow$ Taxa de Juro;
- $r \rightarrow$ número de anos necessários para o período de retorno.

Assim, e anualmente, na análise do período de retorno foram comparados os valores acumulados para cada um dos níveis de qualidade térmica definidos com a solução original. Para cada solução analisada, no ano em que a poupança acumulada se equivale ao valor do custo inicial corresponde ao momento em que o investimento efectuado é amortizado.

Nas tabelas que se seguem, apresentam-se os resultados da análise do período de retorno do investimento para os diferentes casos de estudo, indicando na cor cinza o nível de qualidade térmica mais vantajoso para cada tipo de isolante térmico, considerando para cada um o valor mais baixo de custo global e/ou o maior valor líquido acrescentado.

Tabela 5.14: Período de retorno do investimento para o caso A.

Solução	N ₁					N ₂					N ₃					N ₄				
	XPS	EPS	MW Placa	ICB	MW Manta	XPS	EPS	MW Placa	ICB	MW Manta	XPS	EPS	MW Placa	ICB	MW Manta	XPS	EPS	MW Placa	ICB	MW Manta
S1	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	1
S2	2	1	2	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	2	2	3	2
S3	4	4	4	4	3	4	4	4	5	4	4	4	4	5	4	4	4	4	5	4

Tabela 5.15: Período de retorno do investimento para o caso B.

Solução	N ₁					N ₂					N ₃					N ₄				
	XPS	EPS	MW Placa	ICB	MW Manta	XPS	EPS	MW Placa	ICB	MW Manta	XPS	EPS	MW Placa	ICB	MW Manta	XPS	EPS	MW Placa	ICB	MW Manta
S1	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	3	1	2	2	2	3	1
S2	2	1	2	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	2	2	3	2
S3	4	4	4	5	3	4	4	4	5	4	4	4	4	5	4	4	4	5	5	4

Tabela 5.16: Período de retorno do investimento para o caso C.

Solução	N ₁					N ₂					N ₃					N ₄				
	XPS	EPS	MW Placa	ICB	MW Manta	XPS	EPS	MW Placa	ICB	MW Manta	XPS	EPS	MW Placa	ICB	MW Manta	XPS	EPS	MW Placa	ICB	MW Manta
S4	10	9	10	11	9	10	9	10	11	9	10	8	10	11	8	10	8	10	11	8
S5	7	6	7	8	6	7	6	7	8	6	7	6	7	8	6	7	6	7	9	6
S6	7	6	7	8	6	7	6	7	8	6	7	6	7	9	6	7	6	7	9	6

Relativamente aos casos A e B, que dizem respeito às **soluções de isolamento térmico ao nível da esteira horizontal**, apresentam valores muito semelhantes no período de retorno. São de destacar os resultados do poliestireno expandido (EPS) e da manta de lã mineral para o nível de qualidade térmica superior, que representam as melhores opções de investimento. Segue-se-lhes a placa de lã mineral, com o seu melhor resultado para o nível de qualidade térmica N₃. O poliestireno extrudido apresenta resultados equivalentes à placa de lã mineral, com excepção para a solução S2, onde a diferença de preço dos materiais isolantes é preponderante. Finalmente, o aglomerado negro de cortiça, para além de apresentar períodos de retorno sempre superiores aos restantes, é aquele que tem a aplicação mais favorável apenas para o nível N₂ (demorando, contudo, mais tempo do que a lã mineral em manta para o nível N₄)

Por outro lado, se se comparar as soluções S1 e S2, cuja diferença principal é o isolamento contínuo (da primeira) e descontínuo (da segunda), conclui-se que este simples facto leva a um atraso dos períodos de retorno expectáveis. Ambos os casos em estudo têm a sua expressão mais visível na lã mineral em manta para o nível N₄, em que a diferença do retorno acaba por ser do dobro do tempo (da segunda em relação à primeira opção).

No caso C, que reflecte as **soluções de isolamento térmico ao nível das vertentes**, seria naturalmente de esperar um incremento no tempo de retorno dado tratar-se de soluções mais dispendiosas. Nesta perspectiva, e de acordo com o custo inicial comparativamente demonstrado entre as figuras 5.22 a 5.27, a solução S4 confirma ser a intervenção cujo amortecimento do investimento é mais dilatado no tempo.

Ao nível da **selecção do tipo de isolante térmico** e na generalidade das situações estudadas, a análise leva a concluir que mais uma vez se destaca o mau comportamento do aglomerado negro de cortiça (ICB). É o material isolante que apresenta retornos de investimento muito insatisfatórios face a outros isolantes, nomeadamente o poliestireno expandido (EPS) e a manta de lã de rocha (MW).

De facto, estes dois últimos produtos representam investimentos muito semelhantes para o mesmo nível de qualidade térmica, e são aqueles que apresentam melhores resultados no retorno.

Comparativamente, a aplicação do aglomerado negro de cortiça é aquela que na generalidade das situações demora mais tempo a recuperar o investimento inicial, para as mesmas necessidades energéticas de aquecimento.

A tendência geral, em qualquer dos casos de estudo, aponta para o aumento do número de anos de retorno à medida que se aumenta a espessura do isolamento térmico, mas não é sempre assim.

Contudo, verifica-se que na maioria das situações os ganhos obtidos com a poupança no consumo energético conseguem superar a diferença de investimento de um nível de qualidade térmica em relação a um outro inferior. Ou seja, apesar do investimento inicial aumentar com o aumento da espessura do isolante térmico, a diferença face à poupança anual acumulada é muito ténue o que faz com que seja mais rentável a opção pelos níveis de qualidade térmica superiores – N_3 e N_4 .

Indo mais longe, no caso em estudo C, para alguns tipos de isolante, acontece exactamente o inverso. Ou seja, a análise demonstra que o incremento do isolamento térmico diminui o período de retorno. Por outras palavras, a poupança energética conseguida com o aumento da espessura do isolante é de tal ordem que o período de retorno é mais rápido. Veja-se, por exemplo, o caso do poliestireno expandido (EPS) e da lã mineral em manta (MW), para a solução S4, que apresentam retornos mais curtos para os níveis de qualidade térmica superiores.

Conclui-se, também por outro lado, que a composição de mais do que uma placa (ou manta) de isolante térmico para atingir a espessura necessária para cumprir com o coeficiente de transmissão térmica regulamentar, terá também influência no custo de cada solução. Ou seja, quando se trata de considerar uma solução de isolamento, que se baseia no somatório do custo dos isolantes de diferentes espessuras, pode não compensar a solução que compõe a menor espessura face aos ganhos energéticos de uma solução de espessura superior.

5.4.5 Análise das Perdas Térmicas

Da análise das perdas térmicas, durante a estação de aquecimento (Inverno), pretende-se que contribua para uma melhor definição do nível de qualidade térmica adequado a cada caso em estudo.

Do ponto de vista da exposição da envolvente exterior dos edifícios, e que terá maior ou menor importância face às perdas térmicas dos elementos construídos em contacto com o exterior, os casos em estudo apresentam-se muito diversos.

Este factor é relevante para a análise porque permite, não só definir a energia necessária para compensar as perdas pela envolvente mas, principalmente, avaliar

qual o impacto que as perdas ocorridas pela cobertura têm em relação aos outros elementos da envolvente exterior.

E, para isso, tomaram-se como referências os valores resultantes da aplicação do coeficiente de transmissão térmica N_1 (estabelecido na tabela 3.7) para os elementos de cobertura a analisar na folha de cálculo FCIV.1a do RCCTE e daí extrair o seu peso face ao total das perdas pela envolvente exterior.

A fracção de tipologia T0 – **caso A** – apresenta-se voltada para a fachada principal e esta constitui, para além da cobertura, o único elemento da envolvente exterior. Em termos de perdas térmicas associadas à envolvente exterior, a cobertura neste caso corresponde a uma parcela bastante significativa de cerca de **55%** do total das perdas.

Já a fracção de tipologia T3 – **caso B** – encontra-se numa situação de maior exposição, tratando-se de um volume superior e recuado e com um maior número de alçados exteriores e, conseqüentemente, um maior número de pontes térmicas lineares. Neste caso, a cobertura apresenta um peso muito inferior, na ordem dos **18%**, face ao total de perdas pela envolvente exterior.

O **caso C**, por seu turno, apresenta-se numa situação intermédia, apresentando uma perda parcelar da ordem dos **25%**.

Para se poder efectivar a importância deste elemento face às diferentes proporções encontradas, tomou-se como princípio arbitrar uma escala que tivesse em conta as diferentes relações entre as perdas pela cobertura e as perdas totais associadas à envolvente exterior, tal como se apresenta na tabela seguinte.

Tabela 5.17: Níveis de Qualidade Térmica adequados em função da relação entre área de perdas térmicas pela cobertura e a área total de perdas pela envolvente exterior.

Nível de Qualidade Térmica	Área de cobertura*
N_1	$\leq 10\%$
N_2	$11\% < A \leq 25\%$
N_3	$26\% < A \leq 50\%$
N_4	$> 51\%$

* Valor percentual das perdas térmicas pela cobertura em relação à área total de perdas térmicas pela envolvente exterior.

Tentando estabelecer um critério coerente para a atribuição da ponderação, considerou-se que, se o peso das perdas térmicas da cobertura fosse superior a metade das perdas totais pela envolvente exterior, o nível de qualidade térmica a exigir deveria ser o maior. Nesta situação estaremos perante uma fracção cuja área de cobertura representa uma perda térmica significativa face aos restantes elementos

em contacto com o exterior. Ou seja, é necessário que exista um equilíbrio térmico entre as diferentes partes da fracção a reabilitar (paredes, cobertura, pavimentos, etc.), tendo em conta a sua importância relativa e a sua contribuição para a atenuação das perdas térmicas.

De acordo com este princípio, poderemos dizer que os níveis de qualidade térmica mais adequados a cada caso em estudo são:

- Caso A – N₄
- Caso B – N₂
- Caso C – N₂

Contudo, haverá sempre necessidade de interpretar e cruzar todos os dados, já que, como se pode verificar nas tabelas 5.14, 5.15 e 5.16 relativas aos períodos de retorno, por vezes a diferença de espessura de isolamento térmico tem um impacto residual no custo de investimento inicial. E, nestas situações, será de apostar no maior incremento possível do isolamento térmico, já que o período de retorno não revela muitas discrepâncias entre os níveis de qualidade térmica.

Por exemplo, o caso B apresenta períodos de retorno muito semelhantes ao caso A, e naturalmente será economicamente beneficiado se optar por um nível de qualidade térmica superior àquele que resultaria da aplicação directa da tabela 5.17 (N₂).

Ou veja-se o caso C, onde o período de retorno para alguns isolantes térmicos (EPS, por exemplo) diminui para os níveis de qualidade térmica mais exigentes. Nesta situação, os ganhos térmicos e a consequente poupança energética conseguem ter um impacto económico maior face à diferença no investimento inicial.

CAPÍTULO 6 Conclusões

6.1 Conclusões gerais

Antes de mais, convirá realçar que no que toca ao domínio da reabilitação, e concretamente da reabilitação térmica, a escolha da solução construtiva depende de cada caso em concreto. Não só estará dependente da circunstância construtiva específica do edifício ou da fracção, como do princípio de projecto definido pelo arquitecto, ou também da capacidade económica do proprietário.

São factores muito particulares e sensíveis, que não podem ser, por isso, generalizados.

Consciente destas premissas, o presente trabalho pretende apenas compilar e dar a conhecer o universo dos principais princípios construtivos aplicados na reabilitação térmica de coberturas de edifícios antigos, enfatizando uma abordagem económica que analise as vantagens técnico-económicas e de custo-benefício das intervenções.

As conclusões a seguir explanadas são a súmula das conclusões parciais desenvolvidas no capítulo precedente, interpretando-as e interrelacionando-as agora como um todo.

6.1.1 Factores importantes a considerar na avaliação técnica

Um dos factores que importa destacar neste ponto, refere-se à forma de **aplicação do material de isolamento térmico**. A opção por uma aplicação contínua do material isolante é pertinente porque, garantindo a uniformidade da cobertura ao nível da resistência térmica e a minimização das pontes térmicas, tem inerentes vantagens ao nível da espessura e consequentemente do custo e do peso.

Outro aspecto a ter em consideração prende-se com a **dimensão do vão** a vencer, o qual tem subjacente o emprego de determinadas secções de madeiramento. Este factor pode condicionar a execução da solução de reabilitação térmica ao nível das vertentes – nomeadamente quanto à garantia da espessura recomendada para a caixa-de-ar para ventilação sob as telhas.

A disposição do isolante por camadas – uma entre as varas e outra sob as varas – é uma opção construtiva de compromisso entre as variantes construtivas analisadas.

Por outro lado, o **peso próprio dos isolantes** deve ser avaliado com especial cuidado nas soluções de reabilitação ao nível da laje de esteira, especialmente quando a solução passa por colocar o material directamente sobre o tecto existente. Nesta situação, o esforço mecânico, a que o tecto estucado fica sujeito, deve ser devidamente equacionado aquando da escolha do tipo de isolante a empregar.

Em relação à **composição da camada de isolamento térmico** – em uma ou duas placas (ou mantas) – as vantagens pela solução de sobreposição do material são relevantes, não só em termos construtivos (oferecendo maior garantia da superfície a isolar e atenuar as possíveis perdas térmicas que possam ocorrer através das juntas), mas também o podem ser ao nível económico. O estudo revelou que pode não compensar a solução composta por uma única camada de menor espessura face aos ganhos energéticos de uma solução compósita e de espessura superior.

A introdução, ou não, da **barreira pára-vapor** como prevenção para a ocorrência do fenómeno de condensações internas deve ser alvo de estudo específico que tenha em consideração as características próprias de cada edifício ou fracção e da sua real utilização.

Contudo, a generalidade das informações técnicas consultadas e dos autores estudados recomendam a sua utilização como uma forma de minimizar a possível ocorrência desse fenómeno.

A inclusão de **subtelha**, como reforço do sistema de impermeabilização, é, tecnicamente, uma aposta segura. No entanto, à excepção da solução S4 – que é aquela que contempla uma intervenção a partir do exterior – o custo do material e da execução que lhe está inerente é muito elevado, não se justificando nas intervenções que ocorrem pelo interior.

6.1.2 Factores importantes a considerar na avaliação económica

Os métodos de análise económica que foram ensaiados para definir a espessura de isolamento térmico mais adequada – o **Custo Global** e o **Valor Líquido Acrescentado** - revelam resultados equivalentes. Ou seja, concluiu-se que para todas as situações existe correspondência entre o menor custo global e o maior valor líquido acrescentado.

A **análise das perdas térmicas**, durante a estação de aquecimento, é um parâmetro importante a considerar, porque permite avaliar qual o impacto que as perdas ocorridas pela cobertura têm em relação aos outros elementos da envolvente exterior, com consequências directas no Custo Global.

O conhecimento do “peso” relativo que estas perdas térmicas têm no conjunto da envolvente exterior permitirá aferir o nível de qualidade térmica mais adequado para cada caso.

Este parâmetro não deve, contudo, ser interpretado de forma taxativa, mas servir meramente como um factor indicativo e orientador para uma tomada de decisão com maior acuidade.

No entanto, concluiu-se que quanto maior for a importância das perdas térmicas através da cobertura maior deverá ser o incremento no isolamento térmico desse elemento. Como se pode verificar, o caso A, apresentando uma parcela significativa

de perdas térmicas pela cobertura, foi também aquele que potenciou maiores ganhos efectivos com a poupança energética.

O conhecimento da **exposição da envolvente exterior** (e interior, com exigências térmicas) através do parâmetro *FF* - Factor Forma – extraído das folhas de cálculo do RCCTE – é também um indicador a considerar para a optimização do comportamento térmico.

6.2 Conclusões sobre o princípio de intervenção de reabilitação térmica

6.2.1 Intervenção ao nível da laje de esteira

De uma forma geral, as intervenções de reabilitação térmica ao nível da laje de esteira são aquelas que apresentam um maior grau de satisfação na medida em que permitem assegurar a franca ventilação do desvão e são simultaneamente soluções mais económicas em relação ao isolamento das vertentes, não só porque o volume a aquecer é menor mas também porque a área a isolar é menor.

E, em termos meramente teóricos (porque cada caso é um caso), a solução de reabilitação térmica mais interessante ao nível da laje de esteira, quer do ponto de vista técnico quer económico, é a **solução S1 – Isolamento térmico contínuo sobre a laje de esteira**.

A colocação na face superior da laje aumenta o aproveitamento da inércia do tecto, contribuindo de forma positiva para o atraso e amortecimento da onda de calor no Verão.

6.2.2 Intervenção ao nível das vertentes

Com base no mesmo princípio de aplicação da solução S1, isto é aplicação contínua sobre os elementos estruturais, a **solução S4 – Isolamento contínuo sobre as varas da cobertura** – prefigura-se a solução tecnicamente mais eficaz ao nível do isolamento térmico das vertentes.

No entanto, enquanto que a solução S1 é simultaneamente a mais económica, esta opção S4 revela-se a mais dispendiosa, de entre o conjunto de soluções que foi alvo de análise, e também aquela que requer dos materiais de isolamento térmico níveis de aptidão de utilização mais exigentes.

E, na verdade, a aplicação de subtelha para reforçar a impermeabilização da cobertura só compensa, do ponto de vista económico, se houver intervenção no revestimento de cobertura (remoção e recolocação das telhas), já que os trabalhos de demolição e montagem do sistema podem corresponder a um acréscimo da ordem dos 200% sobre o valor do isolante térmico.

6.2.3 Material de isolamento térmico

De entre os materiais de isolamento térmico escolhidos, a **manta de lã mineral** (MW) foi aquela que demonstrou os resultados mais satisfatórios ao nível do investimento económico por se tratar de um material relativamente barato e leve, por oposição ao aglomerado negro de cortiça (ICB) que se revelou excessivamente caro e pesado para as mesmas condições.

No entanto, tratando-se de um material flexível, a sua adequação aos diferentes tipos de soluções estudados levou-nos a excluir a sua aplicação na solução S4 por não cumprir com o requisito de aptidão de utilização da resistência à compressão e por apresentar um comportamento à água inadequado.

Contudo, para as restantes soluções pareceu-nos o isolante de eleição (destacando-se também as suas propriedades acústicas e ignífugas), particularmente nas soluções de intervenção ao nível da laje de esteira, onde a sua aplicação é de relativa fácil execução.

Nas restantes soluções ao nível das vertentes pode-se assumir que a flexibilidade deste material seja um factor desfavorável para a execução. Para estes casos, o material técnica e economicamente mais interessante foi o **poliestireno expandido** (EPS), que apresentou custos muito semelhantes à manta mas, por se tratar de uma placa rígida, demonstrou nítidas vantagens para as soluções referidas.

A sua leveza e resistência à compressão são virtudes que, para as soluções analisadas, particularmente para a solução S4, merecem ser salientadas.

Em contrapartida, os poliestirenos – tanto o expandido como o extrudido – são frágeis do ponto de vista químico, o que levará a redobrados cuidados na sua fixação ao suporte por meio de colas (devendo ser seguidas as prescrições dos fabricantes).

O **poliestireno extrudido** (XPS) e a **placa de lã mineral** (MW), também analisados dentro dos mesmos parâmetros, revelaram resultados económicos semelhantes entre si e medianos no conjunto.

De entre estes, verificou-se que o XPS era, pelas suas características técnicas o mais adequado para a solução S4 que, por sua vez, relevou níveis de aptidão de utilização mais exigentes.

Será aqui o momento de registar que o **aglomerado negro de cortiça** (ICB), apesar de apresentar os piores resultados económicos por comparação com o universo de materiais seleccionado para análise, é o único material verdadeiramente 100% natural e ecológico, para além das suas excelentes propriedades acústicas. Não será pois de rejeitar liminarmente a ideia de o aplicar se for intenção do investidor apostar em soluções ecologicamente sustentáveis.

6.3 Recomendações para projecto

As obras de reabilitação suscitam sempre questões particulares de execução por lidarem com preexistências, mais ou menos importantes, a manter.

Um ponto que ganhou consenso entre os vários intervenientes neste processo tem que ver com a **reversibilidade das soluções construtivas** preconizadas. E, em certa medida, a introdução de novas tecnologias em detrimento de certas formas de construir antigas pode ser uma mais-valia para a salvaguarda do património.

Por exemplo, o uso de argamassas na execução de pontos singulares do revestimento de cobertura é, cada vez mais, desaconselhável na medida em que é uma forma de potenciar a ocorrência de patologias graves. A sua aplicação excessiva ou desaproprada no encontro de pendentes, cumeeiras e rincões pode contribuir para o surgimento de infiltrações e para uma ventilação deficiente.

Actualmente existem sistemas compostos por elementos de fixação com uma aplicação “a seco” que resultam em soluções construtivas interessantes para a área da reabilitação.

Apesar de este problema não ser o objecto de análise deste estudo, é recomendado como princípio construtivo a seguir pois contribui significativamente para o bom desempenho da envolvente e, conseqüentemente, para a durabilidade.

Já em relação às soluções de reabilitação térmica estudadas, verificou-se que os princípios de execução não são intrusivos. Na generalidade das situações, o material isolante é aplicado e fixado sobre os elementos existentes, e a sua remoção é sempre possível sem que se verifiquem danos excessivos nos elementos preexistentes.

O desenvolvimento da análise das soluções de reabilitação térmica com base nas linhas orientadoras das normas regulamentares, definidas no plano político a nível nacional, levou a trabalhar com espessuras de isolantes bastante superiores àquelas que correntemente são usadas na construção em Portugal.

O critério de atribuição dos diferentes níveis de qualidade térmica considerou o valor de referência do coeficiente de transmissão térmica, estabelecido no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios [2], equivalente ao nível de qualidade térmica mais baixo, ou seja aquele que satisfaz medianamente.

Com base neste princípio, chegaram-se, assim, a espessuras que rondavam entre os 80mm – para o nível de qualidade térmica N_1 - e os 200mm – para o nível de qualidade térmica N_4 , apesar de, tradicionalmente, no nosso país, espessuras desta ordem de grandeza não serem muito usuais, pelo menos no domínio da habitação.

No entanto, a análise económica veio a demonstrar que os benefícios financeiros podem ser bem mais interessantes para os níveis de qualidade térmica mais exigen-

tes, independentemente de saber *à priori* que também o são para a poupança na factura energética.

Por isso, no domínio da reabilitação esta problemática deve ser devidamente equacionada e ajustada à realidade de cada caso.

A consciente intervenção no património construído resulta de uma **atitude de rigor** e de um profundo **conhecimento da realidade**, e só desta forma poderá resultar numa verdadeira valorização desse património.

Nesta perspectiva, considera-se que uma gestão ponderada dos diferentes processos que interferem na reabilitação – nomeadamente os condicionantes físicos, técnicos e económicos, para além dos sociais e culturais – será a postura mais correcta e abrangente capaz de reaver o passado construído e prepará-lo para o futuro sem a perda de uma identidade colectiva – onde o património construído se insere.

6.4 Desenvolvimentos futuros

Durante o processo de pesquisa de documentação técnica que sustentasse as opções de desenvolvimento do trabalho foi flagrante a dificuldade de uniformização dos dados disponíveis.

Desde logo, a tão fundamental **certificação dos produtos de isolamento térmico**, que peca pela incoerência de informação disponibilizada. Os diferentes materiais isolantes apresentam as suas características técnicas de forma muito variada, o que condiciona a decisão de escolha.

Tratando-se de um elemento regulador e auxiliar para os projectistas e empreiteiros, seria de extrema importância que houvesse uma concertação na classificação dos produtos em função da sua adequação ao uso e que a sua divulgação fosse mais expressiva no mercado da construção.

Para além disso, ressalta a ausência de **informação técnica** disponível em Portugal e já tão explorada noutros países, nomeadamente em França.

Partindo do pressuposto que um dos problemas que assola a área da construção civil é, precisamente, a qualidade dos trabalhos de execução seria de toda a utilidade que existisse documentação técnica acessível a técnicos projectistas e a técnicos executantes.

Fala-se, obviamente, de um caderno de encargos exigencial orientado especificamente para as soluções de reabilitação térmica de coberturas de edifícios de construção tradicional que ainda sobrevivem no nosso país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Appleton, J. *Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e Técnicas de Intervenção*: Edições Orion, 2003
- [2] D.L. n.º 80/2006, de 4 de Abril *RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*
- [3] AAVV, *Manual de Aplicação de Telhas Cerâmicas*. (s.l.): Associação Portuguesa dos Industriais da Cerâmica da Construção, 1998
- [4] Paiva, J. V. *Comunicação Medidas de Reabilitação Energética em Edifícios* ao Workshop sobre *Reabilitação Energética de Edifícios em Zonas Urbanas*, Lisboa, Março 2000
- [5] Moita, Francisco. *Energia Solar Passiva 1*. DGE. INCM. Lisboa. 1988.
- [6] Corvacho, M. H. *Catálogo de Pontes Térmicas – Nota de Informação Técnica – NIT 003*. LFC – FEUP. 1999.
- [7] Freitas, V. & Pinto, M. *Metodologia para a Selecção Exigencial de Isolantes Térmicos – Nota de Informação Técnica – NIT 001*. LFC – FEUP. 2000.
- [8] Santos, C. A. & Matias, L. *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios – Informação Técnica de Edifícios – ITE 50*. LNEC. 2006.
- [9] AAVV. *Reabilitação Energética da Envolvente de Edifícios Residenciais*, DGGE – Direcção Geral de Geologia e Energia, Lisboa, 2004
- [10] Freitas, V. & Pinto, P. *Permeabilidade ao vapor de Materiais de Construção – Condensações Internas – Nota de Informação Técnica – NIT 002*. LFC – FEUP. 1998.
- [11] Piedade, A. *et al.* *Climatização de Edifícios – Envolvente e Comportamento Térmico*, Orion, Alfragide, 2ª ed., 2003
- [12] Viegas, J. *Ventilação Natural de Edifícios de Habitação*. LNEC, Lisboa. 2ª edição. 1996
- [13] Gonçalves, H. Mariz Graça, J. *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. DGGE / IP-3E. Lisboa. 2004. www.p3e-portugal.com. Março 2008
- [14] AAVV. *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*, Volumes 1 e 2. INH / LNEC. Lisboa. 2006
- [15] Freitas, V. *Selecção Técnico-Económica da Espessura de Isolantes Térmicos a aplicar na envolvente exterior opaca dos edifícios – Relatório HT 314R/07*. Iberfibran Poliestireno Extrudido S.A. Porto. 2007

-
- [16] Segurado, J. E. S. *Trabalhos de Carpintaria Civil*, Biblioteca de Instrução Profissional, Livraria Bertrand, Lisboa
- [17] AAVV. *CPT 3560 - Cahier de Prescriptions Techniques communes de mise en oeuvre des procédés d'isolation thermique de combles*. e-Cahiers du CSTB. Maio de 2006

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

Teixeira, G. & Belém, M. *Técnicas Tradicionais de Construção* – Diálogos de Edificação: CRAT – Centro Regional de Artes Tradicionais, 1998.

Mascarenhas, J. *Sistemas de Construção VI e VII – Coberturas Inclinadas*: Livros Horizonte, 2006.

Freitas, V. P. *Patologia da Construção*, 7.^{as} Jornadas de Construções Civas sobre Inovação e Desenvolvimento na Construção de Edifícios, 1999, pp. 123-141.

Cabrita, A. R. & Alho C. *Monografia Portuguesa Sobre Inovação e Reabilitação de Edifícios. A Situação Portuguesa 1993*. ITE 20 Rev. ed. Lisboa: LNEC, 1988.

Abrantes, V. & Freitas, V. *Retrofitting of a multistory house development*. IAHS – World Congress on Housing. Porto. Outubro 1989.

Silva, S.. *Caracterização Energético-económica de Diversas Soluções Construtivas*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho - Departamento de Engenharia Civil. 2001.

Aguiar, J. *et al. Guião de Apoio à Reabilitação de Edifícios Habitacionais* – Volumes 1 e 2. LNEC. 1997

Henriques, F. *Reabilitação Térmica de Edifícios*. Agosto 2007. www.alambi.net/reabilit_termica_edificios.pdf. Março 2008.

Arriaga, F. *et al. Intervencion en Estructuras de Madera*. AITIM. Madrid. 2002.

AAVV. *CPT 3647 - Mise en oeuvre des procédés d'isolation thermique rapportée en planchers de greniers et combles perdus faisant l'objet d'un Avis Technique, Document Technique d'Application ou Constat de Traditionalité*. e-Cahiers du CSTB. Novembro de 2008.

AAVV. *CPT 1844 – Règles générales de mise en œuvre des procédés et produits d'isolation thermique rapportée sur planchers de greniers et combles perdus faisant l'objet d'un avis technique*. Cahiers du CSTB. Abril de 1983

AAVV. *Certification ACERMI – Définition et Exemples d'usages des propriétés certifiées ISOLE*. ACERMI. Outubro de 2007

ANEXO I

Coefficiente de Transmissão Térmica de Coberturas Inclinadas

Tabela I.1: Coeficientes de Transmissão Térmica para os isolantes na Esteira Horizontal e nas Vertentes [8].

			Fluxo Ascendente Inverno		Fluxo Descendente Verão	
Sem Isolante Térmico			3,8		2,5	
Isolante Térmico			Descontínuo	Contínuo	Descontínuo	Contínuo
Produto [kg/m ³]	λ [W/(m.°C)]	esp. [mm]	c/ estrutura de madeira *	c/ fixações pon- tuais	c/ estrutura de madeira *	c/ fixações pon- tuais
XPS (25-40)	0,037	30	1,0	0,96	0,92	0,85
		40	0,84	0,77	0,77	0,70
		60	0,63	0,56	0,59	0,52
		80	0,51	0,44	0,49	0,42
		100	0,44	0,37	0,42	0,35
EPS (15-20) MW (35-100) PIR/PUR (20-50)	0,040	30	1,1	1,0	0,97	0,90
		40	0,89	0,82	0,81	0,74
		60	0,67	0,60	0,63	0,56
		80	0,54	0,47	0,52	0,45
		100	0,46	0,39	0,44	0,37
EPS (13-15)	0,042	30	1,1	1,1	0,99	0,92
		40	0,92	0,85	0,84	0,77
		60	0,69	0,62	0,65	0,58
		80	0,56	0,49	0,53	0,46
		100	0,48	0,41	0,46	0,39
EPS (11-13) ICB (90-140) MW (20-35)	0,045	30	1,2	1,1	1,0	0,96
		40	0,97	0,90	0,87	0,80
		60	0,73	0,66	0,68	0,61
		80	0,59	0,52	0,56	0,49
		100	0,50	0,43	0,48	0,41

* Os valores de U correspondentes à solução de isolamento descontínuo com estrutura metálica são acrescidos de 0,15 [W/(m².°C)].

ANEXO II

Caracterização construtiva geral dos edifícios em análise para efeito das folhas de cálculo do RCCTE

De uma forma sistemática podemos descrever as soluções construtivas adoptadas para o edifício da Rua D. Manuel II que influem no cálculo das necessidades energéticas da seguinte forma e que apresentam os seguintes coeficientes de transmissão térmica:

a) Paredes exteriores

- a1 | Parede simples de fachada de alvenaria de pedra (granito), com 0,40 a 0,60m de espessura, com revestimento interior independente de painéis de gesso cartonado (com fixação por colagem ou pontual à parede sem estrutura de suporte) e isolante térmico de XPS pelo interior no espaço de ar não-ventilado, com 60mm

→ $U = 0,50$ [W/(m².°C)], Quadro II.3 A1 [8]

- a2 | Parede simples de fachada de blocos de betão leve, com 0,20 a 0,30m de espessura, com revestimento interior independente de painéis de gesso cartonado (com fixação por colagem ou pontual à parede sem estrutura de suporte) e isolante térmico de XPS pelo interior no espaço de ar não-ventilado, com 60mm

→ $U = 0,42$ [W/(m².°C)], Quadro II.3 A1 [8]

- a3 | Parede simples de fachada de alvenaria de pedra (granito), com 0,40 a 0,60m de espessura, com revestimento exterior ventilado de chapa metálica (com perfis metálicos fixados a suportes metálicos pontuais) e isolante térmico de XPS, com 60mm

→ $U = 0,57$ [W/(m².°C)], Quadro II.2 B1 [8]

- a4 | Parede dupla de fachada de blocos de betão leve, 0,11 + 0,15m de espessura, com isolante térmico de XPS preenchendo totalmente o espaço de ar, com 60mm

→ $U = 0,42$ [W/(m².°C)], Quadro II.5 A [8]

b) Pavimentos exteriores

- Pavimento sobre espaço exterior de soalho de madeira (resinosa semi-densa, 435 a 520 kg/m³), com 30mm, assente sobre estrutura de madeira descontínua com espaço de ar não-ventilado, com 100mm, com revesti-

mento exterior independente de painéis de partículas de madeira aglomeradas com cimento, com 15mm, e isolante térmico de XPS, com 80mm

→ $U = 0,34$ [W/(m².°C)], determinado a partir da fórmula do ponto 3.2.3.3

c) Paredes interiores de separação entre zonas habitáveis e espaços não-úteis

- Parede dupla de blocos de betão leve, 0,11 + 0,15m de espessura, com isolante térmico de XPS preenchendo totalmente o espaço de ar, com 40mm

→ $U_{Ina} = 0,51$ [W/(m².°C)], Quadro II.5 A [8]

Tratando-se de paredes de separação entre um espaço útil interior aquecido e um local não-aquecido, o coeficiente de transmissão térmica U_{Ina} foi determinado mediante a expressão:

$$U_{Ina} = \frac{1}{\frac{1}{U} + 0,09} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$$

d) Paredes em contacto com edifícios adjacentes

- Parede simples de alvenaria de pedra (granito), com 0,40 a 0,60m de espessura, com revestimento interior independente de painéis de gesso cartonado (com fixação por colagem ou pontual à parede sem estrutura de suporte) e isolante térmico de XPS pelo interior no espaço de ar não-ventilado, com 40mm

→ $U_{Ina} = 0,64$ [W/(m².°C)], Quadro II.3 A1 [8]

e) Coberturas exteriores

- Cobertura horizontal de chapa metálica nervurada, com isolante térmico de XPS pelo exterior como suporte de impermeabilização, com 80mm

→ $U = 0,43$ [W/(m².°C)], Quadro II.14 A1 [8], de Inverno e,

→ $U = 0,42$ [W/(m².°C)], Quadro II.16 A1 [8], de Verão

Da mesma forma, para o edifício da Rua Fernandes Tomás é possível sistematizar as opções da seguinte forma:

a) Paredes exteriores

- Parede simples de fachada de alvenaria de pedra (granito), com 0,40 a 0,60m de espessura, com revestimento interior independente de painéis de gesso cartonado (com fixação por colagem ou pontual à parede sem

estrutura de suporte) e isolante térmico de XPS pelo interior no espaço de ar não-ventilado, com 40mm

→ $U = 0,68$ [W/(m².°C)], Quadro II.3 A1 [8]

b) Paredes interiores de separação entre zonas habitáveis e espaços não-úteis

- Parede simples de blocos de tijolo furado, com 0,20 a 0,24m de espessura, com revestimento interior independente de painéis de gesso cartonado (com fixação por colagem ou pontual à parede sem estrutura de suporte) e isolante térmico de XPS pelo interior preenchendo totalmente o espaço de ar, com 40mm

→ $U = 0,54$ [W/(m².°C)], Quadro II.3 A1 [8]

c) Paredes em contacto com edifícios adjacentes

- Parede simples de alvenaria de pedra (granito), com 0,40 a 0,60m de espessura, com revestimento interior independente de painéis de gesso cartonado (com fixação por colagem ou pontual à parede sem estrutura de suporte) e isolante térmico de XPS pelo interior no espaço de ar não-ventilado, com 40mm

→ $U_{Ina} = 0,64$ [W/(m².°C)], Quadro II.3 A1 [8]

Para ambos os edifícios de estudo, e para efeitos de cálculo das perdas e ganhos térmicos associados aos vãos exteriores, foram considerados envidraçados sem classe de caixilharia e sem caixa de estore que se discriminam nos seguintes tipos:

- Envidraçado simples de caixilharia de madeira com pintura de esmalte branco, com vidro duplo incolor, 4+16+5mm, e com dispositivo de oclusão nocturna de baixa permeabilidade ao ar

→ $U = 2,2$ [W/(m².°C)], Quadro III.1 [8],

- Envidraçado simples de caixilharia de alumínio termolacado branco com corte térmico, com vidro duplo incolor, 4+16+5mm, nas variantes com e sem dispositivo de oclusão nocturna de baixa permeabilidade ao ar

→ $U = 2,5$ [W/(m².°C)], Quadro III.5 [8], com dispositivo e,

→ $U = 3,3$ [W/(m².°C)], Quadro III.5 [8], sem dispositivo

ANEXO III

Apresentação dos resultados da Análise Económica

Nas tabelas apresentadas estão explanados os resultados obtidos na análise económica, com enfoque para o Custo Inicial [C_0], o Custo Global [C_g], a Poupança Energética [P], o Período de Retorno e o Valor Líquido Acrescentado [VLA].

Para cada solução de reabilitação térmica estão indicados, em tons gradientes de cinzento, os materiais de isolamento térmico que apresentam o menor Custo Global e, simultaneamente, o maior Valor Líquido Acrescentado para o período analisado.

À tonalidade mais escura de cinzento corresponderá o material isolante que apresenta os melhores resultados, por oposição à tonalidade mais clara de cinzento que corresponde ao material isolante que, comparativamente, apresenta os piores resultados.

Da comparação desta classificação pode-se concluir que, de um modo geral, aos materiais isolantes com melhor desempenho económico para uma determinada solução correspondem os níveis de qualidade térmica mais exigentes. A regressão que ocorre nos restantes isolantes reflecte-se também numa diminuição do nível de qualidade térmica – que equivale a dizer uma redução de espessura do isolamento térmico.

De uma forma resumida, os resultados apresentados nas tabelas seguintes colocam a manta de lã de rocha (MW) e o poliestireno expandido (EPS) como os materiais que apresentam o melhor desempenho económico nos vários parâmetros de avaliação.

Seguem-se o poliestireno extrudido (XPS) e a placa de lã de rocha (MW), a que correspondem níveis de qualidade térmica intermédios e, por último, o aglomerado negro de cortiça (ICB), ao qual, comparativamente, correspondem os níveis de qualidade térmica mais baixos.

Tabela III.1: Quadro-resumo da solução S1 para o caso A.

S1	ISOLAMENTO CONTÍNUO SOBRE A LAJE DE ESTEIRA						
	Nível de Qualidade	esp. [mm]	C_0 [€]	C_g [€/15 anos]	P [€/15 anos]	Retorno [anos]	VLA [€]
XPS	N_1	80	624.89	4864.44	7227.91	2	6603.02
	N_2	100	703.99	4796.84	7374.61	2	6670.62
	N_3	130	878.01	4762.43	7583.05	2	6705.04
	N_4	150	998.64	4799.79	7666.31	2	6667.67
EPS	N_1	80	388.38	4690.80	7165.04	1	6776.66
	N_2	100	436.24	4571.00	7332.70	1	6896.46
	N_3	140	531.55	4415.97	7583.05	1	7051.50
	N_4	160	579.01	4401.12	7645.36	1	7066.35
MW Placa	N_1	80	633.20	4935.62	7165.04	2	6531.84
	N_2	100	734.05	4868.82	7332.70	2	6598.65
	N_3	140	932.19	4816.61	7583.05	2	6650.86
	N_4	160	1034.23	4856.34	7645.36	2	6611.13
ICB	N_1	100	923.49	5142.09	7248.87	2	6325.38
	N_2	120	1067.85	5119.36	7415.96	2	6348.11
	N_3	160	1358.94	5243.35	7583.05	3	6224.11
	N_4	180	1504.09	5326.20	7645.36	3	6141.27
MW Manta	N_1	100	393.92	4612.51	7248.87	1	6854.95
	N_2	120	449.29	4500.79	7415.96	1	6966.67
	N_3	160	519.69	4404.10	7583.05	1	7063.36
	N_4	180	552.91	4375.02	7645.36	1	7092.45

Tabela III.2: Quadro-resumo da solução S2 para o caso A.

S2	ISOLAMENTO DESCONTÍNUO SOBRE A LAJE DE ESTEIRA						
	Nível de Qualidade	esp. [mm]	C_0 [€]	C_g [€/15 anos]	P [€/15 anos]	Retorno [anos]	VLA [€]
XPS	N_1	100	688.17	4927.72	7227.91	2	6539.74
	N_2	120	786.25	4837.76	7415.96	2	6629.71
	N_3	150	974.91	4880.28	7562.09	2	6587.18
	N_4	170	1050.84	4872.95	7645.36	2	6594.52
EPS	N_1	100	436.24	4717.70	7186.00	1	6749.76
	N_2	120	484.09	4576.95	7374.61	1	6890.52
	N_3	150	554.89	4481.22	7541.14	1	6986.25
	N_4	180	626.47	4448.58	7645.36	2	7018.89
MW Placa	N_1	100	699.64	4981.11	7186.00	2	6486.36
	N_2	120	795.75	4888.60	7374.61	2	6578.86
	N_3	150	948.80	4875.13	7541.14	2	6592.34
	N_4	180	1100.28	4922.39	7645.36	2	6545.08
ICB	N_1	100	923.49	5288.79	7102.17	2	6178.68
	N_2	140	1213.79	5244.34	7436.92	3	6223.13
	N_3	180	1504.09	5367.55	7604.01	3	6099.92
	N_4	200	1649.24	5471.35	7645.36	3	5996.12
MW Manta	N_1	100	393.92	4759.21	7102.17	1	6708.25
	N_2	140	482.51	4513.06	7436.92	1	6954.41
	N_3	180	552.91	4416.37	7604.01	1	7051.10
	N_4	200	509.09	4412.20	7645.36	2	7136.27

Tabela III.3: Quadro-resumo da solução S3 para o caso A.

S3	ISOLAMENTO CONTÍNUO SOB A LAJE DE ESTEIRA						
	Nível de Qualidade	esp. [mm]	C_0 [€]	C_g [€/15 anos]	P [€/15 anos]	Retorno [anos]	VLA [€]
XPS	N_1	80	1842.29	6081.84	7227.91	4	5385.62
	N_2	100	1921.39	6014.24	7374.61	4	5453.22
	N_3	130	2095.41	5979.83	7583.05	4	5487.64
	N_4	150	2216.04	6017.19	7666.31	4	5450.27
EPS	N_1	80	1605.78	5908.20	7165.04	4	5559.26
	N_2	100	1653.64	5788.40	7332.70	4	5679.06
	N_3	140	1748.95	5633.37	7583.05	4	5834.10
	N_4	160	1796.41	5618.52	7645.36	4	5848.95
MW Placa	N_1	80	1850.60	6153.02	7165.04	4	5314.44
	N_2	100	1951.45	6086.22	7332.70	4	5381.25
	N_3	140	2149.59	6034.01	7583.05	4	5433.46
	N_4	160	2251.63	6073.74	7645.36	4	5393.73
ICB	N_1	100	2140.89	6359.49	7248.87	4	5107.98
	N_2	120	2285.25	6336.76	7415.96	5	5130.71
	N_3	160	2576.34	6460.75	7583.05	5	5006.71
	N_4	180	2721.49	6543.60	7645.36	5	4923.87
MW Manta	N_1	100	1611.32	5829.91	7248.87	3	5637.55
	N_2	120	1666.69	5718.19	7415.96	4	5749.27
	N_3	160	1737.09	5621.50	7583.05	4	5845.96
	N_4	180	1770.31	5592.42	7645.36	4	5875.05

Tabela III.4: Quadro-resumo da solução S1 para o caso B.

S1	ISOLAMENTO CONTÍNUO SOBRE A LAJE DE ESTEIRA						
	Nível de Qualidade	esp. [mm]	C_0 [€]	C_g [€/15 anos]	P [€/15 anos]	Retorno [anos]	VLA [€]
XPS	N_1	80	673.87	9897.99	7751.28	2	7077.41
	N_2	100	759.17	9823.69	7910.88	2	7151.71
	N_3	130	946.83	9787.66	8134.57	2	7187.74
	N_4	150	1076.91	9826.00	8226.31	2	7149.40
EPS	N_1	80	418.82	9710.80	7683.42	1	7264.60
	N_2	100	470.43	9580.19	7865.64	1	7395.21
	N_3	140	573.22	9414.04	8134.57	1	7561.35
	N_4	160	624.40	9396.11	8203.69	2	7579.29
MW Placa	N_1	80	682.83	9974.81	7683.42	2	7000.59
	N_2	100	791.58	9901.35	7865.64	2	7074.06
	N_3	140	1005.26	9846.09	8134.57	2	7129.31
	N_4	160	1115.30	9887.01	8203.69	2	7088.39
ICB	N_1	100	995.88	10197.38	7773.90	2	6778.02
	N_2	120	1151.55	10170.83	7956.12	2	6804.57
	N_3	160	1465.45	10302.51	8138.34	3	6672.89
	N_4	180	1621.98	10393.69	8203.69	3	6581.71
MW Manta	N_1	100	424.79	9626.29	7773.90	1	7349.11
	N_2	120	484.50	9503.78	7956.12	1	7471.62
	N_3	160	560.42	9397.48	8138.34	1	7577.92
	N_4	180	596.25	9367.96	8203.69	1	7607.44

Tabela III.5: Quadro-resumo da solução S2 para o caso B.

S2	ISOLAMENTO DESCONTÍNUO SOBRE A LAJE DE ESTEIRA						
	Nível de Qualidade	esp. [mm]	C_0 [€]	C_g [€/15 anos]	P [€/15 anos]	Retorno [anos]	VLA [€]
XPS	N_1	100	742.11	9966.23	7751.28	2	7009.17
	N_2	120	847.88	9867.16	7956.12	2	7108.24
	N_3	150	1051.32	9914.77	8111.95	2	7060.63
	N_4	170	1133.21	9904.92	8203.69	2	7070.48
EPS	N_1	100	470.43	9739.79	7706.04	1	7235.61
	N_2	120	522.04	9586.56	7910.88	1	7388.84
	N_3	150	598.81	9481.11	8093.10	1	7494.29
	N_4	180	676.00	9447.71	8203.69	2	7527.69
MW Placa	N_1	100	754.48	10023.84	7706.04	2	6951.56
	N_2	120	858.12	9922.64	7910.88	2	7052.76
	N_3	150	1023.17	9905.47	8093.10	2	7069.93
	N_4	180	1186.52	9958.23	8203.69	2	7017.17
ICB	N_1	100	995.88	10356.98	7614.30	2	6618.42
	N_2	140	1308.93	10305.59	7978.74	3	6669.81
	N_3	180	1621.98	10436.42	8160.96	3	6538.98
	N_4	200	1778.51	10550.22	8203.69	3	6425.18
MW Manta	N_1	100	424.79	9785.89	7614.30	1	7189.51
	N_2	140	520.33	9516.99	7978.74	1	7458.41
	N_3	180	596.25	9410.69	8160.96	1	7564.71
	N_4	200	636.34	9408.05	8203.69	2	7567.35

Tabela III.6: Quadro-resumo da solução S3 para o caso B.

S3	ISOLAMENTO CONTÍNUO SOB A LAJE DE ESTEIRA						
	Nível de Qualidade	esp. [mm]	C_0 [€]	C_g [€/15 anos]	P [€/15 anos]	Retorno [anos]	VLA [€]
XPS	N_1	80	1984.27	11208.39	7751.28	4	5767.01
	N_2	100	2069.57	11134.09	7910.88	4	5841.31
	N_3	130	2257.23	11098.06	8134.57	4	5877.34
	N_4	150	2387.31	11136.40	8226.31	4	5839.00
EPS	N_1	80	1729.22	11021.20	7683.42	4	5954.20
	N_2	100	1780.83	10890.59	7865.64	4	6084.81
	N_3	140	1883.62	10724.44	8134.57	4	6250.95
	N_4	160	1934.80	10706.51	8203.69	4	6268.89
MW Placa	N_1	80	1993.23	11285.21	7683.42	4	5690.19
	N_2	100	2101.98	11211.75	7865.64	4	5763.66
	N_3	140	2315.66	11156.49	8134.57	4	5818.91
	N_4	160	2425.70	11197.41	8203.69	5	5777.99
ICB	N_1	100	2306.28	11507.78	7773.90	5	5467.62
	N_2	120	2461.95	11481.23	7956.12	5	5494.17
	N_3	160	2775.85	11612.91	8138.34	5	5362.49
	N_4	180	2932.38	11704.09	8203.69	5	5271.31
MW Manta	N_1	100	1735.19	10936.69	7773.90	3	6038.71
	N_2	120	1794.90	10814.18	7956.12	4	6161.22
	N_3	160	1870.82	10707.88	8138.34	4	6267.52
	N_4	180	1906.65	10678.36	8203.69	4	6297.04

Tabela III.7: Quadro-resumo da solução S4 para o caso C.

S4	ISOLAMENTO CONTÍNUO SOBRE AS VARAS DA ESTRUTURA DO TELHADO						
	Nível de Qualidade	esp. [mm]	C_0 [€]	C_g [€/15 anos]	P [€/15 anos]	Retorno [anos]	VLA [€]
XPS	N_1	80	16032.39	45618.12	25004.41	10	8972.02
	N_2	100	16531.53	45391.83	25729.84	10	9198.31
	N_3	130	17619.46	44630.30	27579.30	10	9959.84
	N_4	150	18373.01	44984.12	27979.03	10	9606.02
EPS	N_1	80	14525.29	44424.71	24690.72	9	10165.43
	N_2	100	14818.47	43881.36	25527.25	9	10708.78
	N_3	140	15402.41	42413.26	27579.30	8	12176.89
	N_4	160	15693.17	42405.80	27877.51	8	12184.34
MW Placa	N_1	80	15814.32	45713.75	24690.72	10	8876.40
	N_2	100	16432.19	45495.08	25527.25	10	9095.06
	N_3	140	17856.91	44867.75	27579.30	10	9722.39
	N_4	160	18482.05	45194.67	27877.51	10	9395.46
ICB	N_1	100	17803.61	47284.76	25108.98	11	7305.37
	N_2	120	18688.00	47339.16	25939.98	11	7251.98
	N_3	160	20471.23	47482.17	27579.30	11	7108.07
	N_4	180	21360.57	48073.20	27877.51	11	6516.94
MW Manta	N_1	100	14559.21	44040.37	25108.98	9	10549.77
	N_2	120	14898.43	43549.59	25939.98	9	11041.55
	N_3	160	15329.72	42340.57	27579.30	8	12249.58
	N_4	180	15533.25	42245.88	27877.51	8	12344.26

Tabela III.8: Quadro-resumo da solução S5 para o caso C.

S5	ISOLAMENTO CONTÍNUO SOB AS VARAS DA ESTRUTURA DO TELHADO						
	Nível de Qualidade	esp. [mm]	C_0 [€]	C_g [€/15 anos]	P [€/15 anos]	Retorno [anos]	VLA [€]
		N_1	80	11155.49	40741.22	25004.41	7
XPS	N_2	100	11654.63	40514.93	25729.84	7	14075.21
	N_3	130	12742.56	39753.40	27579.30	7	14836.74
	N_4	150	13496.11	40107.22	27979.03	7	14482.92
	N_1	80	9648.39	39547.81	24690.72	6	15042.33
EPS	N_2	100	9941.57	39004.46	25527.25	6	15585.68
	N_3	140	10525.51	37536.36	27579.30	6	17053.79
	N_4	160	10816.27	37528.90	27877.51	6	17061.24
	N_1	80	10937.42	40836.85	24690.72	7	13753.30
MW Placa	N_2	100	11555.29	40618.18	25527.25	7	13971.96
	N_3	140	12980.01	39990.85	27579.30	7	14599.29
	N_4	160	13605.15	40317.77	27877.51	7	14272.36
	N_1	100	12926.71	42407.86	25108.98	8	12182.27
ICB	N_2	120	13811.10	42462.26	25939.98	8	12128.88
	N_3	160	15594.43	42605.27	27579.30	8	11984.87
	N_4	180	16483.67	43196.30	27877.51	9	11393.84
	N_1	100	9682.31	39163.47	25108.98	6	15426.67
MW Manta	N_2	120	10021.53	38672.69	25939.98	6	15918.45
	N_3	160	10452.82	37463.67	27579.30	6	17126.48
	N_4	180	10656.35	37368.98	27877.51	6	17221.16

Tabela III.9: Quadro-resumo da solução S6 para o caso C.

S6	ISOLAMENTO DESCONTÍNUO ENTRE AS VARAS DA ESTRUTURA DO TELHADO						
	Nível de Qualidade	esp. [mm]	C_0 [€]	C_g [€/15 anos]	P [€/15 anos]	Retorno [anos]	VLA [€]
XPS	N_1	100	11485.02	41070.75	25004.41	7	13519.39
	N_2	120	12085.92	40737.09	25938.98	7	13853.06
	N_3	150	13241.70	40354.06	27477.78	7	14236.08
	N_4	170	13706.91	40419.54	27877.51	7	14170.60
EPS	N_1	100	9941.57	39736.43	24795.28	6	14853.71
	N_2	120	10234.75	39095.05	25729.84	6	15495.09
	N_3	150	10670.89	37884.78	27376.25	6	16705.36
	N_4	180	11109.46	37822.08	27877.51	6	16768.05
MW Placa	N_1	100	11552.86	41347.72	24795.28	7	13242.42
	N_2	120	12144.08	41004.37	25729.84	7	13585.76
	N_3	150	13081.78	40295.66	27376.25	7	14294.47
	N_4	180	14009.79	40722.41	27877.51	7	13867.72
ICB	N_1	100	12926.71	43133.29	24383.55	8	11456.84
	N_2	140	14705.19	42420.33	26875.00	8	12169.81
	N_3	180	16483.67	43399.34	27674.47	9	11190.80
	N_4	200	17372.91	44085.54	27877.51	9	10504.60
MW Manta	N_1	100	9682.31	39888.90	24383.55	6	14701.24
	N_2	140	10225.06	37940.20	26875.00	6	16649.94
	N_3	180	10656.35	37572.02	27674.47	6	17018.12
	N_4	200	10884.12	37596.74	27877.51	6	16993.39

ANEXO IV

Glossário

Água mestra | Vertente principal, geralmente trapezoidal, numa cobertura de quatro águas.

Asna | Treliza de madeira, metálica ou mista que serve de apoio à estrutura secundária.

Beirado | Beira no final da vertente saliente da parede exterior, executada com peças acessórias, capa e bica.

Beiral | Beira no final da vertente saliente da parede exterior, executada com a própria telha.

Bordo lateral | Aresta que limita lateralmente uma vertente, correspondendo, no geral à intersecção com uma parede ou não.

Clarabóia | Abertura existente na vertente de uma cobertura inclinada, que permite entrada de luz natural, podendo permitir ou não entrada de ar.

Cimalha | Espaço exterior e inferior da vertente, saliente em relação ao coroa-mento de uma parede.

Contrapeito | Aresta de intersecção geralmente horizontal, de duas vertentes no mesmo sentido e diferentes inclinações formando um ângulo reentrante.

Contra-ripa | Peça da estrutura secundária, disposta sob o ripado, segundo a linha de maior declive da vertente, que apoia sobre um elemento contínuo.

Cumeeira (ou *Cume*) | Intersecção superior, geralmente horizontal, de duas ver-tes opostas, formando um ângulo saliente.

Empena | Superfície triangular da parede que limita lateralmente uma cobertura de uma ou duas águas.

Espigão (ou *Fileira*) | Aresta que limita superiormente uma vertente, correspon-dendo no geral à intersecção com uma parede emergente (remate) ou não (bordo).

Estrutura da cobertura | Conjunto das peças resistentes que suportam a cobertu-ra.

Estrutura principal | Conjunto das peças resistentes da cobertura que apoiam directamente nos elementos verticais da edificação (paredes, pilares, etc.)

Estrutura secundária | Conjunto de peças de suporte e resistentes da cobertura intercaladas entre o revestimento da cobertura e a sua estrutura principal.

Fileira (ou *Pau de Fileira*) | Vara principal aplicada no vértice superior das asnas fazendo a união entre elas.

Forro | Elemento contínuo que forra interiormente a cobertura, acompanhando a vertente, colocado entre a estrutura principal e secundária, ou imediatamente abaixo desta.

Frechal | Peça da estrutura secundária da cobertura, correspondente a uma madre que apoia na parede resistente e recebe e distribui esforços transmitidos pelo varedo.

Guarda-pó | Forro de tabuado de madeira colocado em geral entre o ripado e o vareado, que pode substituir o primeiro no assentamento de telhas de canudo.

Laró (ou *Guieiro morto*) | Intersecção lateral de duas vertentes, formando um ângulo reentrante.

Madre (*Lata* ou *Terça*) | Apoiam sobre as asnas paralelamente ao beirado; a madre situada no ponto mais alto da cobertura designa-se por cumeeira e apoia-se sobre os vértices superiores das asnas; para que o comportamento da estrutura siga um modelo de treliça, as madres devem apoiar o mais próximo possível dos nós da “perna”, sendo este apoio concretizado através da utilização de calços de madeira ou “berços metálicos”, impedindo a rotação da madre; a secção das madres depende do seu vão e da distância entre asnas e entre madre, das cargas aplicadas (peso da ripa, telha, acções exteriores) e inclinação da cobertura.

Mansarda | Aresta de intersecção geralmente horizontal, de duas vertentes no mesmo sentido e diferentes inclinações formando um ângulo saliente.

Quebra | Aresta de intersecção, geralmente horizontal, de duas vertentes no mesmo sentido e diferentes inclinações, indiferentemente no caso de ângulo saliente ou reentrante.

Rincão (ou *Guieiro*) | Intersecção lateral de duas vertentes, formando um ângulo saliente.

Ripa (ou *Lata*) | Asseguram o posicionamento das telhas e transmitem à estrutura as acções sobre elas exercidas; as ripas assentam perpendicularmente sobre as varas, procedendo-se ao assentamento de telhas sobre as ripas – estas possuem uma secção reduzida (alturas de 2 a 4 cm), estando o seu espaçamento condicionado pelo tipo de telha utilizado; a eficácia do ripado está directamente relacionada com a inclinação pretendida, uma vez que quanto menor a inclinação, maior a necessidade de arejamento da face interior da cobertura.

Ripado | Conjunto das ripas de uma cobertura.

Tábua de barbate | Peça da estrutura secundária da cobertura, que substitui o ripado na beira da cobertura, para manter a pendente da fiada de telhas da beira. A tábua de barbate é muitas vezes substituída por uma ripa dupla.

Tacaniça | Vertente secundária, triangular, numa cobertura de quatro águas.

Tardoz | Fachada posterior, oposta à fachada principal.

Varas (ou *Caibros*) | Apoiam perpendicularmente sobre as madres, na direcção da vertente, sendo o espaçamento destas condicionado pela resistência e rigidez das ripas que nela apoiam; a secção das varas depende do afastamento entre madres e das cargas a que a cobertura está sujeita.

Vertente (ou *Água*) | Qualquer superfície plana de uma cobertura inclinada.